

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Simona URBANČIČ

**VPLIV ZELIŠČNIH EKSTRAKTOV NA  
OKSIDACIJO MAŠČOB IN NASTANEK  
AKRILAMIDA MED CVRTJEM KROMPIRJA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Simona URBANČIČ

**VPLIV ZELIŠČNIH EKSTRAKTOV NA OKSIDACIJO MAŠČOB  
IN NASTANEK AKRILAMIDA MED CVRTJEM KROMPIRJA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**INFLUENCE OF HERBAL EXTRACTS ON OXIDATION OF FATS  
AND FORMATION OF ACRYLAMIDE DURING FRYING OF  
POTATO**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubjana, 2014

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA



Simona URBANČIČ

**VPLIV ZELIŠČNIH EKSTRAKTOV NA OKSIDACIJO MAŠČOB  
IN NASTANEK AKRILAMIDA MED CVRTJEM KROMPIRJA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**INFLUENCE OF HERBAL EXTRACTS ON OXIDATION OF FATS  
AND FORMATION OF ACRYLAMIDE DURING FRYING OF  
POTATO**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubjana, 2014

Popravki

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete in sklepa Komisije za doktorski študij z dne 21.9.2011 je bilo potrjeno, da kandidatka izpolnjuje pogoje za neposreden prehod na doktorski Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti ter opravljanje doktorata znanosti s področja živilstva. Za mentorja je bil imenovan prof. dr. Rajko Vidrih.

Doktorska disertacija je zaključek Podiplomskega študija bioloških in biotehniških znanosti, področje Živilstvo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Opravljeno je bilo v Vitivi d.d. v Novi vasi pri Markovcih. Raziskavo je delno financirala Evropska unija in sicer iz Evropskega socialnega sklada.

Mentor: prof. dr. Rajko VIDRIH

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof. dr. Tatjana KOŠMERL  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo

Član: prof. dr. Rajko VIDRIH  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo

Članica: prof. dr. Lucija ZUPANČIČ KRALJ  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svojega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddala v elektronski obliki identično tiskani verziji.

Doktorandka:

Simona Urbančič

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMATIKA (KDI)

ŠD Dd  
DK UDK 664.34:641.522.2:615.9(043)=163.6  
KG cvrtje/rastlinska olja/repično olje/sončnično olje/sojino olje/oksidacija maščob/  
antioksidanti/ekstrakti rožmarina/ocvrt krompirček/polarne  
spojine/malonaldehid/ akrilamid  
AV URBANČIČ, Simona, univ. dipl. inž. živ. tehnol.  
SA VIDRIH, Rajko (mentor)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij bioloških in  
biotehniških znanosti, področje živilstva  
LI 2014  
IN VPLIV ZELIŠČNIH EKSTRAKTOV NA OKSIDACIJO MAŠČOB IN  
NASTANEK AKRILAMIDA MED CVRTJEM KROMPIRJA  
TD Doktorska disertacija  
OP XV, 167 str., 71 pregl., 41 sl., 155 vir.  
IJ sl  
JI sl / en  
AI Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv dodatka različnih sintetičnih in naravnih  
antioksidantov na preprečevanje oziroma zaviranje razgradnih procesov v  
rastlinskih oljih med cvrtjem, zaviranje nastanka malonaldehida, akrilamida in  
izboljšanje senzoričnih lastnosti v ocvrtem krompirčku. Ugotoviti smo želeli  
tudi korelacije med ovrednotenimi parametri ter preveriti, če je 25 % delež  
polarnih spojin primerna meja za prenehanje uporabe olja. Oljem smo pred  
toplotno obdelavo dodali antioksidante (butilhidroksi anizol (BHA), tert-  
butilhidrokinon (TBHQ), tokoferole, rožmarinov ekstrakt, rožmarinov ekstrakt s  
tokoferoli in rožmarinov ekstrakt s citratnimi estri mono- in digliceridov  
maščobnih kislin (CITREM)) v zakonsko dovoljenih mejah in v njih cvrli  
zamrznjen predocvrt krompirček, dokler delež polarnih spojin v najboljših  
vzorcih olja ni dosegel 25 %. Ugotovili smo, da so deleži polarnih spojin, deleži  
prostih maščobnih kislin, vsebnosti konjugiranih dienov in trienov v olju, ter  
vsebnosti malonaldehida in akrilamida v ocvrtem krompirčku s časom cvrtja  
naraščale in so bile odvisne od vrste olja ter dodatka antioksidantov, spreminjala  
se je tudi barva olj in senzorična kakovost ocvrtega krompirčka. Vrstni red  
delovanja antioksidantov v vseh oljih in ocvrtem krompirčku v naraščajočem  
vrstnem redu je bil naslednji: kontrola<BHA< TBHQ<tokoferoli<rožmarinov  
ekstrakt<rožmarinov ekstrakt s tokoferoli< rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.  
Korelacijska analiza je pokazala, da so vsi parametri olja in ocvrtega krompirčka  
v tesni povezavi s časom cvrtja, prav tako smo ugotovili tesne povezave med  
posameznimi parametri in prišli do zaključka, da je najustreznejša metoda za  
spremljanje razgradnje olja merjenje deleža polarnih spojin, saj zajame vse  
razgradne produkte olja, za razliko od ostalih metod. Pri 25 % mejnem deležu  
polarnih spojin v olju nekatere senzorične ocene ocvrtega krompirčka v naši  
raziskavi niso bile več sprejemljive, presežena je bila tudi vsebnost akrilamida.

## KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)

DN Dd  
DC UDC 664.34:641.522.2:615.9(043)=163.6  
CX frying/vegetable oils/rapeseed oil/sunflower oil/soy oil/oxidation/antioxidants/  
rosemary extracts/ French fries/polar compounds/malonaldehyde/acrylamide  
AU URBANČIČ, Simona  
AA VIDRIH, Rajko (supervisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate Study of Biological  
and Biotechnical Sciences, Field: Food Science and Technology  
PY 2014  
TI INFLUENCE OF HERBAL EXTRACTS ON OXIDATION OF FATS AND  
FORMATION OF ACRYLAMIDE DURING FRYING OF POTATO  
DT Doctoral dissertation  
NO XVI, 167 p., 71 tab., 41 fig., 155 ref.  
LA sl  
AL sl / en  
AB The purpose of the thesis was to determine the effect of different synthetic and natural antioxidants on the prevention/inhibition of the degradation processes in vegetable oils during frying, and inhibition of the synthesis of malonaldehyde and acrylamide and improvement of sensory properties of French fries. The correlations between quantified parameters were calculated and the hypothesis if the 25% content of polar compounds is a suitable limit for oil disposal was studied. Antioxidants (butylhydroxy anisole (BHA), tert-butyl hydroquinone (TBHQ), tocopherols, rosemary extract, rosemary extract with tocopherols and rosemary extract with citric acid esters of mono-and diglycerides of fatty acids (CITREM)) were added to the oils in the limits allowed by law. Semi fried frozen French fries were fried until the content of polar compounds in the best performing samples of oils reached the value of 25 %. In oils the levels of total polar compounds, free fatty acids, conjugated dienes and trienes as well as color changes were determined. In samples of French fries the content of malonaldehyde, acrylamide and sensory properties were evaluated. The content of polar compounds, free fatty acids, conjugated dienes and trienes in oils and malonaldehyde and acrylamide content in French fries were increasing during frying and depended on the type of oil and antioxidants. Color of oils and sensory quality of French fries also deteriorated. Antioxidants prevented degradation processes in French fries in ascending order: control<BHA<TBHQ<tocopherols< rosemary extract<rosemary extract with tocopherols<rosemary extract with CITREM. Correlation analysis showed that all quality parameters of oil and French fries are in close conjunction with frying time and high correlations between studied parameters were found. According to our results content of polar compounds seems to be the most appropriate method for monitoring the quality degradation of oil. Unlike other methods it captures all degradation products of oils. At the 25 % limit in the content of polar compounds sensory quality of French fries sensory quality is no longer acceptable and the acceptable level of acrylamide was also exceeded.

## KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	IX
Kazalo slik	XII
Kazalo prilog	XIV
Okrajšave in simboli	XV
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 CILJI RAZISKAV IN DELOVNE HIPOTEZE	3
<b>2 PREGLED OBJAV</b>	<b>4</b>
2.1 POSTOPEK CVRTJA	4
2.2 KAKOVOST OLJ ZA CVRTJE	4
<b>2.2.1 Vloga olj med cvrtjem</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2 Izbira olj/maščob za cvrtje</b>	<b>5</b>
2.2.2.1 Sojino olje	6
2.2.2.2 Repično olje	7
2.2.2.3 Sončnično olje	7
<b>2.2.3 Priporočene lastnosti svežega olja za cvrtje</b>	<b>8</b>
2.3 SPREMEMBE V OLJIH MED CVRTJEM	9
<b>2.3.1 Kemijske spremembe</b>	<b>14</b>
2.3.1.1 Oksidacija	14
2.3.1.2 Hidroliza	18
2.3.1.3 Polimerizacija	19
<b>2.3.2 Fizikalne spremembe</b>	<b>20</b>
<b>2.3.3 Dejavniki, ki vplivajo na razgradnjo olj med procesom cvrtja</b>	<b>20</b>
<b>2.3.4 Razgradni produkti olj za cvrtje</b>	<b>21</b>
2.3.4.1 Hlapni razgradni produkti	22
2.3.4.2 Nehlapni razgradni produkti	22
2.4 SPREMEMBE KROMPIRJA MED CVRTJEM	23
2.4.1.1 Nastanek akrilamida	26
2.5 VPLIV RAZGRADNIH PRODUKTOV OLJ ZA CVRTJE IN OCVRTIH ŽIVIL NA ZDRAVJE	29
2.6 NAČINI ZMANJŠANJA KOLIČINE NASTALIH RAZGRADNIH PRODUKTOV V OLJIH ZA CVRTJE IN ZAŠČITA OCVRTIH ŽIVIL	31
2.7 ANTIOKSIDANTI	31
<b>2.7.1 Mehanizmi delovanja</b>	<b>34</b>
2.7.1.1 Primarni antioksidanti	34
2.7.1.2 Sekundarni antioksidanti	35
<b>2.7.2 Sintetični in naravni antioksidanti</b>	<b>36</b>
2.7.2.1 Sintetični antioksidanti	37
2.7.2.1.1 TBHQ	38



2.7.2.1.2	BHA in BHT .....	38
2.7.2.2	Naravni antioksidanti .....	39
2.7.2.2.1	Tokoferoli .....	41
2.7.2.2.2	Ekstrakti rožmarina .....	41
2.7.2.2.3	Citratni estri mono- in digliceridov maščobnih kislin (CITREM) .....	47
2.8	MERJENJE KAKOVOSTI OLJ ZA CVRTJE .....	48
2.8.1	<b>Polarne spojine</b> .....	<b>51</b>
2.8.2	<b>Proste maščobne kisline</b> .....	<b>53</b>
2.8.3	<b>Konjugirani dieni in trieneni</b> .....	<b>53</b>
2.8.4	<b>Barva</b> .....	<b>53</b>
2.9	MERJENJE KAKOVOSTI OCVRTEGA KROMPIRČKA .....	55
2.9.1	<b>Senzorična analiza</b> .....	<b>55</b>
2.9.2	<b>Vsebnost malonaldehida</b> .....	<b>56</b>
2.9.3	<b>Vsebnost akrilamida</b> .....	<b>56</b>
2.10	ODPADNA OLJA ZA CVRTJE .....	56
<b>3</b>	<b>MATERIAL IN METODE DELA</b> .....	<b>58</b>
3.1	OPREDELITEV NALOGE .....	58
3.2	MATERIAL ZA ANALIZE .....	58
3.2.1	<b>Priprava vzorcev</b> .....	<b>59</b>
3.3	NAČRT POSKUSA .....	60
3.4	METODE DELA .....	60
3.4.1	<b>Analize olj za cvrtje</b> .....	<b>60</b>
3.4.1.1	Določanje polarnih spojin .....	60
3.4.1.2	Določanje prostih maščobnih kislin .....	61
3.4.1.3	Določanje konjugiranih dienov in trienov .....	62
3.4.1.4	Določanje barve .....	63
3.4.2	<b>Analize ocvrtega krompirčka</b> .....	<b>63</b>
3.4.2.1	Določanje vsebnosti malonaldehida s TBA metodo .....	63
3.4.2.2	Senzorična analiza .....	64
3.4.2.3	Določanje vsebnosti akrilamida .....	65
3.4.3	<b>Statistična analiza</b> .....	<b>67</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b> .....	<b>68</b>
4.1	ANALIZE REPIČNEGA OLJA IN KROMPIRČKA, OCVRTEGA V REPIČNEM OLJU .....	68
4.1.1	<b>Določanje deleža polarnih spojin v repičnem olju</b> .....	<b>69</b>
4.1.2	<b>Določanje deleža prostih maščobnih kislin v repičnem olju</b> .....	<b>70</b>
4.1.3	<b>Določanje vsebnosti konjugiranih dienov in trienov v repičnem olju</b> ..	<b>72</b>
4.1.4	<b>Določanje barve repičnega olja</b> .....	<b>75</b>
4.1.5	<b>Določanje vsebnosti malonaldehida v krompirčku ocvrtem v repičnem olju</b> .....	<b>79</b>
4.1.6	<b>Senzorična analiza krompirčka ocvrtega v repičnem olju</b> .....	<b>81</b>
4.1.7	<b>Korelacijska analiza</b> .....	<b>87</b>
4.2	ANALIZE SONČNIČNEGA OLJA IN KROMPIRČKA, OCVRTEGA V SONČNIČNEM OLJU .....	89
4.2.1	<b>Določanje deleža polarnih spojin v sončničnem olju</b> .....	<b>90</b>

4.2.2	Določanje deleža prostih maščobnih kislin v sončničnem olju.....	91
4.2.3	Določanje vsebnosti konjugiranih dienov in trienov v sončničnem olju .....	93
4.2.4	Določanje barve sončničnega olja .....	96
4.2.5	Določanje vsebnosti malonaldehida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju .....	100
4.2.6	Določanje vsebnosti akrilamida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju .....	102
4.2.7	Senzorična analize krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	103
4.2.8	Korelacijska analiza .....	109
4.3	ANALIZE SOJINEGA OLJA IN KROMPIRČKA, OCVRTEGA V SOJINEM OLJU .....	111
4.3.1	Določanje deleža polarnih spojin v sojinem olju .....	112
4.3.2	Določanje deleža prostih maščobnih kislin v sojinem olju .....	113
4.3.3	Določanje vsebnosti konjugiranih dienov in trienov sojinem olju .....	115
4.3.4	Določanje barve sojinega olja .....	117
4.3.5	Določanje vsebnosti malonaldehida v krompirčku ocvrtem v sojinem olju .....	121
4.3.6	Senzorična analiza krompirčka ocvrtega v sojinem olju .....	123
4.3.7	Korelacijska analiza .....	127
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	129
5.1	RAZPRAVA.....	129
5.1.1	Spremembe v oljih .....	129
5.1.1.1	Delež polarnih spojin.....	129
5.1.1.2	Delež prostih maščobnih kislin.....	130
5.1.1.3	Vsebnost konjugiranih dienov in trienov.....	132
5.1.1.4	Sprememba barve .....	133
5.1.1.4.1	L* vrednost .....	133
5.1.1.4.2	a* vrednost .....	134
5.1.1.4.3	b* vrednost.....	135
5.1.1.4.4	Barvna razlika vzorcev .....	135
5.1.2	Spremembe v krompirčku .....	136
5.1.2.1	Vsebnost malonaldehida.....	136
5.1.2.2	Spremembe v senzorični oceni .....	137
5.1.2.2.1	Vonj .....	137
5.1.2.2.2	Barva.....	137
5.1.2.2.3	Žarkost .....	138
5.1.2.2.4	Oljavost.....	139
5.1.2.2.5	Skupni vtis .....	139
5.1.2.3	Vsebnost akrilamida .....	139
5.1.3	Korelacije .....	141
5.1.4	Razlike med olji .....	142
5.1.5	Razlike med vzorci.....	145
5.2	SKLEPI.....	148
6	POVZETEK .....	150

<b>7</b>	<b>SUMMARY</b> .....	<b>153</b>
----------	----------------------	------------

<b>8</b>	<b>VIRI</b> .....	<b>156</b>
----------	-------------------	------------

**ZAHVALA**

**PRILOGE**

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1	Priporočeni analitični parametri za sveža olja za cvrtje (rafinirana, beljena, deodorizirana) (Gupta, 2005).....	8
Preglednica 2	Razgradnja olja med cvrtjem mešanih živil (Blumethal in Stier, 1991) .....	11
Preglednica 3	Relativne reakcijske stopnje nenasičenih maščobnih kislin s kisikom (Erickson, 2007) .....	16
Preglednica 4	Primer izračuna relativne stabilnosti sojinega olja (Erickson, 2007).....	17
Preglednica 5	Dejavniki, ki vplivajo na razgradnjo olja med cvrtjem (Warner, 2002) .....	21
Preglednica 6	Hlapni in nehlapni razgradni produkti olja za cvrtje (Warner, 2002).....	21
Preglednica 7	Glavni procesi, ki potekajo v cvrtem živilu med cvrtjem (Pokorný in Réblová, 1999) .....	24
Preglednica 8	Spremembe antioksidantov med cvrtjem (Pokorný, 2003) .....	32
Preglednica 9	Dejavniki, ki vplivajo na aktivnost antioksidantov (Pokorný, 2007).....	33
Preglednica 10	Aditivi, ki se lahko uporabljajo v oljih za cvrtje (Uredba komisije..., 2011) .....	34
Preglednica 11	Prednosti in slabosti naravnih antioksidantov v primerjavi s sintetičnimi antioksidanti (Pokorný, 2007) .....	37
Preglednica 12	Spremembe v fizikalnih in kemijskih parametrih med cvrtjem; glavni vzroki in korelacije z razgradnjo olja (Gertz in Matthäus, 2008).....	49
Preglednica 13	Metode merjenja razgradnih produktov v oljih za cvrtje (Warner, 2002) .....	50
Preglednica 14	Klasifikacija razgradnih produktov olja glede na molekulsko maso (Paul in Mittal, 1997) .....	52
Preglednica 15	Primerjava absolutnih vrednosti celotne barvne razlike ( $\Delta E$ ) z vizualno oceno barvnih razlik (DIN 5033, 1992).....	54
Preglednica 16	Snovi, odgovorne za spremembe barve olj med cvrtjem (Paul in Mittal, 1997) .....	55
Preglednica 17	Maščobnokislinska sestava olj .....	58
Preglednica 18	Relativna stabilnost olj za cvrtje.....	59
Preglednica 19	Sestava komercialno dostopnih ekstraktov rožmarina (specifikacije v Prilogah A, B, C) .....	59
Preglednica 20	Oznaka vzorcev olj za cvrtje in ocvrtega krompirčka ter količina in vrsta dodanega antioksidanta.....	59
Preglednica 21	Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre repičnega olja in krompirčka ocvrtega v repičnem olju .....	68
Preglednica 22	Viri variabilnosti za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre repičnega olja in krompirčka ocvrtega v repičnem olju.....	69
Preglednica 23	Delež polarnih spojin (%) v repičnem olju med cvrtjem .....	70

Preglednica 24	Delež prostih maščobnih kislin (%) v repičnem olju med cvrtjem.....	71
Preglednica 25	Specifični absorpcijski koeficient (E1cm1%) pri valovni dolžini 232 nm v repičnem olju med cvrtjem.....	72
Preglednica 26	Specifični absorpcijski koeficient (E1cm1%) pri valovni dolžini 268 nm v repičnem olju med cvrtjem.....	74
Preglednica 27	L* vrednost repičnega olja med cvrtjem .....	75
Preglednica 28	a* vrednost repičnega olja med cvrtjem .....	76
Preglednica 29	b* vrednost repičnega olja med cvrtjem.....	77
Preglednica 30	Vsebnost malonaldehida (mg/kg) v krompirčku ocvrtem v repičnem olju .....	80
Preglednica 31	Senzorična ocena (1-7) vonja krompirčka ocvrtega v repičnem olju.....	81
Preglednica 32	Senzorična ocena (1-4-7) barve krompirčka ocvrtega v repičnem olju .....	82
Preglednica 33	Senzorična ocena (0-5) žarkosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju .....	83
Preglednica 34	Senzorična ocena (0-5) oljavosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju .....	84
Preglednica 35	Senzorična ocena (1-7) skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v repičnem olju .....	85
Preglednica 36	Pearsonovi korelacijski koeficienti med parametri poskusa, izvedenega na repičnem olju .....	88
Preglednica 37	Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sončničnega olja in krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	89
Preglednica 38	Viri variabilnosti za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sončničnega olja in krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	90
Preglednica 39	Delež polarnih spojin (%) v sončničnem olju med cvrtjem .....	91
Preglednica 40	Delež prostih maščobnih kislin (%) v sončničnem olju med cvrtjem.....	92
Preglednica 41	Specifični absorpcijski koeficient (E1cm1%) pri valovni dolžini 232 nm v sončničnem olju med cvrtjem .....	93
Preglednica 42	Specifični absorpcijski koeficient (E1cm1%) pri valovni dolžini 268 nm v sončničnem olju med cvrtjem .....	95
Preglednica 43	L* vrednost sončničnega olja med cvrtjem .....	96
Preglednica 44	a* vrednost sončničnega olja med cvrtjem.....	97
Preglednica 45	b* vrednost sončničnega olja med cvrtjem .....	98
Preglednica 46	Vsebnost malonaldehida (mg/kg) v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju.....	101
Preglednica 47	Vsebnost akrilamida (µg/kg) v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju.....	102
Preglednica 48	Senzorična ocena (1-7) vonja krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	104
Preglednica 49	Senzorična ocena (1-4-7) barve krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	105

Preglednica 50	Senzorična ocena (0-5) žarkosti krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	105
Preglednica 51	Senzorična ocena (0-5) oljavosti krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	106
Preglednica 52	Senzorična ocena (1-7) skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v sončničnem olju.....	107
Preglednica 53	Pearsonovi korelacijski koeficienti med parametri poskusa, izvedenega na sončničnem olju.....	110
Preglednica 54	Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sojinega olja in krompirčka ocvrtega v sojinem olju.....	111
Preglednica 55	Viri variabilnosti za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sojinega olja in krompirčka ocvrtega v sojinem olju....	112
Preglednica 56	Delež polarnih spojin (%) v sojinem olju med cvrtjem.....	113
Preglednica 57	Delež prostih maščobnih kislin (%) v sojinem olju med cvrtjem.....	113
Preglednica 58	Specifični absorpcijski koeficient (E1cm1%) pri valovni dolžini 232 nm v sojinem olju med cvrtjem.....	115
Preglednica 59	Specifični absorpcijski koeficient (E1cm1%) pri valovni dolžini 268 nm v sojinem olju med cvrtjem.....	116
Preglednica 60	L* vrednost vzorcev sojinega olja med cvrtjem.....	118
Preglednica 61	a* vrednost vzorcev sojinega olja med cvrtjem.....	118
Preglednica 62	b* vrednost vzorcev sojinega olja med cvrtjem.....	119
Preglednica 63	Vsebnost malonaldehida (mg/kg) v krompirčku ocvrtem v sojinem olju.....	122
Preglednica 64	Senzorična ocena (1-7) vonja krompirčka ocvrtega v sojinem olju.....	123
Preglednica 65	Senzorična ocena (1-4-7) barve krompirčka ocvrtega v sojinem olju.....	124
Preglednica 66	Senzorična ocena (0-5) žarkosti krompirčka ocvrtega v sojinem olju.....	124
Preglednica 67	Senzorična ocena (0-5) oljavosti krompirčka ocvrtega v sojinem olju.....	125
Preglednica 68	Senzorična ocena (1-7) skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v sojinem olju.....	125
Preglednica 69	Pearsonovi korelacijski koeficienti med parametri poskusa, izvedenega na sojinem olju.....	128
Preglednica 70	Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre olj za cvrtje in ocvrtega krompirčka.....	142
Preglednica 71	Viri variabilnosti in statistične značilnosti njihovega vpliva na instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sojinega olja in krompirčka ocvrtega v sojinem olju.....	144

## KAZALO SLIK

Slika 1	Svetovna proizvodnja jedilnih olj v letih 2008/2009 (Gunstone, 2011).....	6
Slika 2	Krivulja kakovosti olja za cvrtje (Stier, 2004) .....	10
Slika 3	Spremembe, ki se pojavljajo v olju in živilu med cvrtjem (Orthofer in List, 2007).....	13
Slika 4	Struktura prereza ocvrtega krompirčka (nastanek skorje) (Orthofer in List, 2007).....	25
Slika 5	Kemijska struktura akrilamida (Claus in sod., 2008) .....	27
Slika 6	Možne poti nastanka akrilamida (Becalski in sod., 2003).....	28
Slika 7	Kemijska struktura TBHQ (Carocho in Ferreira, 2013).....	38
Slika 8	Kemijska struktura BHA in BHT (Carocho in Ferreira, 2013) .....	39
Slika 9	Rožmarin (Ellis, 2013).....	42
Slika 10	Kemijska struktura karnozolne kisline (Zhang in sod., 2012).....	43
Slika 11	Kemijska struktura karnozola (Zhang in sod., 2012) .....	44
Slika 12	Antioksidativni mehanizem kinona karnozolne kisline (Masuda in sod., 2002) .....	46
Slika 13	Fizikalne in kemijske spremembe olja med cvrtjem (Choe in Min, 2007).....	48
Slika 14	Delež prostih maščobnih kislin (PMK) v vzorcih repičnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %.....	71
Slika 15	Vsebnost konjugiranih dienov (KD) v vzorcih repičnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 % .....	73
Slika 16	Vsebnost konjugiranih trienov (KT) v vzorcih repičnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 % .....	74
Slika 17	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) repičnega olja z dodanimi antioksidanti (B, C, D, E, F, G) v primerjavi z vzorcem brez dodatka antioksidantov (A).....	77
Slika 18	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) repičnega olja pred začetkom cvrtja in po 26. cvrtjih.....	78
Slika 19	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) repičnega olja pred začetkom cvrtja in po tem, ko delež polarnih spojin naraste na 25 % .....	79
Slika 20	Vsebnost malonaldehida (TBA) v krompirčku ocvrtem v repičnem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %.....	80
Slika 21	Ocena senzoričnih lastnosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju po 26. cvrtjih.....	86
Slika 22	Ocena senzoričnih lastnosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju pri enakem deležu polarnih spojin v olju (25 %) .....	87
Slika 23	Delež prostih maščobnih kislin (PMK) v vzorcih sončničnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %.....	92
Slika 24	Vsebnost konjugiranih dienov (KD) v vzorcih sončničnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %.....	94
Slika 25	Vsebnost konjugiranih trienov (KT) v vzorcih sončničnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %.....	95

Slika 26	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sončničnega olja z dodanimi antioksidanti (B, C, D, E, F, G) v primerjavi z vzorcem brez dodatka antioksidantov (A) .....	98
Slika 27	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sončničnega olja pred začetkom cvrtja in po 20. cvrtjih .....	99
Slika 28	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sončničnega olja pred začetkom cvrtja in po tem, ko delež polarnih spojin naraste na 25 % .....	100
Slika 29	Vsebnost malonaldehida (TBA) v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 % .....	101
Slika 30	Vsebnost akrilamida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 % .....	103
Slika 31	Ocena senzoričnih lastnosti krompirčka ocvrtega v sončničnem olju po 20. cvrtjih .....	107
Slika 32	Ocena senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtih v sončničnem olju pri enakem deležu polarnih spojin v olju (25 %) .....	108
Slika 33	Delež prostih maščobnih kislin (PMK) v vzorcih sojinega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 % .....	114
Slika 34	Vsebnost konjugiranih dienov (KD) v vzorcih sojinega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 % .....	116
Slika 35	Vsebnost konjugiranih trienov (KT) v vzorcih sojinega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 % .....	117
Slika 36	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sojinega olja z dodanimi antioksidanti (B, C, D, E, F, G) v primerjavi z vzorcem brez dodatka antioksidantov (A) ...	120
Slika 37	Barvna razlika ( $\Delta E$ ) vzorcev sojinega olja pred začetkom cvrtja in po 18. cvrtju .....	120
Slika 38	Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sojinega olja pred začetkom cvrtja in po tem, ko delež polarnih spojin naraste na 25 % .....	121
Slika 39	Vsebnost malonaldehida (TBA) v krompirčku ocvrtem v sojinem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže vrednost 25 % .....	122
Slika 40	Ocena senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju po 18. cvrtjih .....	126
Slika 41	Ocena senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju pri enakem deležu polarnih spojin v olju (25 %) .....	127



## KAZALO PRILOG

PRILOGA A: Specifikacija ekstrakta INOLENS 4 (301779) (Vitiva, 2013a)

PRILOGA B: Specifikacija ekstrakta SyneROX 4 (302002) (Vitiva, 2013b)

PRILOGA C: Specifikacija ekstrakta SyneROX HT (302144) (Vitiva, 2013c)

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AA	akrilamid
BHA	butilhidroksi anizol
BHT	butilhidroksi toluol
CIAA	Zveza industrije hrane in pijač
CITREM	citratni estri mono- in digliceridov maščobnih kislin
KD	konjugirani dieni
KT	konjugirani trieni
PMK	proste maščobne kisline
PS	polarne spojine
TBA	TBA vrednost – vsebnost malonaldehida
TBHQ	tert-butilhidrokinon

## 1 UVOD

Ocvrta živila predstavljajo posebno kulinarično doživetje potrošnikom po celem svetu. Cvrtje je ena najhitrejših in najstarejših metod priprave hrane in postopek cvrtja sega daleč v egipčanske čase, okrog 6. stoletja pred našim štetjem. Romanski narodi so razširili to metodo in jo imenovali »vrenje v olju« (Banks, 1996).

Cvrtje je eden najpogosteje uporabljenih postopkov priprave hrane. Uživanje ocvrtih živil v svetu ne narašča le zaradi enostavne in hitre priprave, temveč tudi zaradi njihovega specifičnega dobrega okusa. Kljub negativnim učinkom na zdravje, ostajajo ocvrta živila zelo priljubljena med potrošniki, kar je razvidno tudi iz hitrega naraščanja števila restavracij s hitro prehrano v zadnjih nekaj desetletjih.

Čeprav je cvrtje relativno preprosta tehnika priprave živil, so fizikalne in kemijske spremembe, ki se pojavljajo med cvrtjem, zelo kompleksne.

V gostinskih in industrijskih obratih se olja običajno večkrat uporabijo za cvrtje, preden se zavržejo, za razliko od cvrtja doma. Dolgotrajna cvrtja povzročajo manjšo sprejemljivost in prehransko vrednost ocvrtih živil, zaradi oksidativne, hidrolitske in toplotne razgradnje olja. Pri temperaturah cvrtja nastaja veliko število hlapnih in nehlapnih spojin. Te spojine ne vplivajo le na stabilnost olja, ampak tudi ocvrto živilo v večkrat uporabljenem olju vsebuje razgradne produkte, ki posredno vplivajo tudi na zdravje potrošnikov. Tudi ekonomskih izgub zaradi razgradnje in adsorpcije olj na živilo ne gre zanemariti.

Krompir in druga živila, ki imajo veliko vsebnost aminokislina asparagin in reducirajočih sladkorjev, so med postopkom cvrtja podvržena nastanku akrilamida. Akrilamid je kemijska snov, ki lahko povzroča številne toksične učinke in je tudi kancerogen. Akrilamid v glavnem nastaja pri Maillardovi reakciji iz prostega asparagina in vira karbonilne spojine. V večini živil so glavni viri karbonilnih spojin reducirajoči sladkorji, vendar pa karbonili nastajajo tudi med oksidacijo maščob. Predlogi za zmanjšanje nastanka akrilamida v živilih med cvrtjem vključujejo zmanjšanje temperature cvrtja, krajši čas cvrtja, zmanjšanje pH živila, cvrtje živil z majhno vsebnostjo sladkorjev ali asparagina in dodatki snovi, ki zmanjšujejo nastanek akrilamida. Mnoge sestavine vplivajo na zmanjšanje nastanka akrilamida, vključno z organskimi kislinami, kationi in antioksidanti. Še vedno je malo znanega o učinkovitosti ekstraktov rožmarina na zmanjšanje nastanka akrilamida med cvrtjem.

Za podaljšanje obstojnosti olj za cvrtje se dodajajo antioksidanti. Večinoma se uporabljajo nizkocenovni sintetični antioksidanti, kot so BHA (butilhidroksianizol), BHT (butilhidroksitoluol) in TBHQ (tertiarni butilhidroksikinon), ki so dokazano toksični in kancerogeni, ter dovoljeni za uporabo v živilih v zakonsko dovoljenih mejah.

Z naraščajočo zaskrbljenostjo glede potencialnih tveganj uporabe sintetičnih antioksidantov in svetovnim trendom, da se izognemo ali vsaj minimiziramo uporabo sintetičnih aditivov, se je pojavil velik interes uporabe naravnih antioksidantov iz

rastlinskih virov. Prednosti naravnih antioksidantov so varnost, dovoljene so večje koncentracije, pa tudi potrošniki jih dobro sprejmejo.

Ekstrakti rožmarina so bogat vir naravnih antioksidantov in mnoge raziskave so dokazale, da so enako učinkoviti kot sintetični antioksidanti. So med redkimi naravnimi ekstrakti, ki so dobro topni v olju. Ekstrakti rožmarina so še posebej učinkoviti pri visokih temperaturah cvrtja, ker niso hlapni kot večina sintetičnih antioksidantov. Ščitijo olja med cvrtjem, njihova antioksidativna aktivnost pa se prenaša tudi na ocvrta živila.

Aktivni učinkovini rožmarinovega ekstrakta, karnozolna kislina in karnozol, se med toplotno obdelavo razgradita v produkte, ki ostanejo aktivni kot antioksidanti v toplotno obdelanih maščobah.

Kljub razširjeni distribuciji različnih vrst olja po celem svetu, dajejo posamezna regionalna območja prednost določenim oljem, zaradi dostopnosti olj in navad potrošnikov. Tako se na primer bombažno olje uporablja za cvrtje krompirjevega čipsa v Ameriki, v Mehiki uporabljajo sezamovo olje ali olje žafranike, v Indiji pretežno arašidovo olje, v Sloveniji in ostalem delu Evrope pa večinoma repično, sončnično in sojino olje ali njihove mešanice.

Mehanizem toplotne razgradnje olj za cvrtje je kompleksen. Spremenljivke, vključene v proces, vključujejo pogoje cvrtja, dodatek svežega olja, začetno kakovost olja, vrsto živila in tip cvrtnika.

Vlaga v živilih začne in pospeši oksidacijo s hidrolitskimi spojinami. Živila z večjo vsebnostjo vode, kot so krompir in panirana živila, povzročijo hitrejšo hidrolizo olja. Vsebnost polarnih spojin in količina prostih maščobnih kislin sta glavna indikatorja kakovosti olja za cvrtje in se omejujeta v mnogih mednarodnih zakonodajah. Iz zdravstvenih razlogov naj ne bi bila vsebnost polarnih spojin večja kot 25 % in količina prostih maščobnih kislin ne večja kot 2 %. Določanje polarnih spojin v oljih za cvrtje omogoča enostavnejše merjenje razgradnih produktov ter je dovolj natančno in ponovljivo.

Raziskava je bila opravljena z namenom sledenja kakovosti olja in živila med cvrtjem. Namen raziskave je bil proučiti prednosti dodatka rožmarinovega ekstrakta in drugih antioksidantov v smislu zaviranja razgradnje rastlinskih olj. Razgradnjo olj smo spremljali z merjenjem vsebnosti polarnih spojin, prostih maščobnih kislin, konjugiranih dienov in trienov ter barve olja. Raziskan je bil tudi učinek delovanja antioksidantov dodanih olju na ocvrto živilo, glede na vsebnost nastalega akrilamida, malonaldehida in senzorične lastnosti. Določili smo tudi korelacije med razgradnimi produkti maščob in vsebnostjo akrilamida.

## 1.1 CILJI RAZISKAV IN DELOVNE HIPOTEZE

Cilj doktorske naloge je ugotoviti vpliv naravnih in sintetičnih antioksidantov na razgradnjo treh vrst olj za cvrtje med toplotno obdelavo krompirja in posledično nastanek oksidacijskih produktov, malonaldehida in akrilamida v ocvrtem krompirčku, ter ugotoviti, kateri od instrumentalnih, kemijskih in senzoričnih parametrov je najbolj primeren za spremljanje kakovosti olja in ocvrtega krompirja med cvrtjem.

Delovne hipoteze:

- obseg termooksidacijskih sprememb v oljih se bo s časom cvrtja povečeval;
- stabilnost olj med cvrtjem bo odvisna od maščobnokislinske sestave;
- barva olj bo med cvrtjem potemnela;
- dodatek antioksidantov bo zmanjšal nastanek primarnih in sekundarnih produktov oksidacije v oljih;
- rožmarinovi ekstrakti bodo nudili boljšo zaščito oljem in ocvrtemu krompirčku med cvrtjem v primerjavi s sintetičnimi antioksidanti in tokoferoli;
- dodatek antioksidantov v olje bo posredno izboljšal tudi kakovost ocvrtega krompirčka v smislu senzorične kakovosti, vsebnosti malonaldehida in vsebnosti akrilamida;
- vsebnost akrilamida v krompirčku, ocvrtem v sončničnem olju, bo naraščala s časom cvrtja;
- delež polarnih spojin bo v korelaciji z ostalimi parametri kakovosti olj in ocvrtega krompirčka;
- 25 % delež polarnih spojin je primerna meja za prenehanje uporabe olja.

## **2 PREGLED OBJAV**

### **2.1 POSTOPEK CVRTJA**

V osnovi je cvrtje proces toplotne obdelave živila pri visoki temperaturi (160-190 °C). Med cvrtjem je živilo potopljeno v vročo maščobo/olje, ki deluje kot prenašalec toplote (Rossell, 2001). Vročina se prenaša z olja na živilo, voda izpareva iz živila in živilo absorbira olje. Zaradi tesnega stika med živilom in oljem je cvrtje bolj učinkovit proces kot drugi postopki toplotne obdelave (pečenje v pečici, kuhanje v vodi ali pari). Absorpcija olja, dehidracija površine živila s posledičnim oblikovanjem skorjice, razvoj površinske barve in nastanek okusa kumulativno vplivajo na univerzalno zelen okus ocvrtih živil (Orthoefer in List, 2007).

Mnogi dejavniki vplivajo na toplotni in masni prenos, vključno s toplotnimi in fizikalnimi lastnostmi živila in olja, obliko in velikostjo živila in temperature olja (Warner, 2002).

Cvrtje je uporabno za pripravo vseh vrst živil, kot so meso, ribe in zelenjava. Krompir je živilo, ki se pogosto cvre, saj se masovno uporablja za proizvodnjo ocvrtega krompirja in čipsa (Rossell, 2001). Ocvrt krompir vsebuje med 8 in 15 % maščobe (Saguy in Dana, 2003), čips pa do 45 % maščobe.

Med cvrtjem so olja podvržena različnim razgradnim procesom, kot so oksidacija, hidroliza in polimerizacija, ki povzročajo nastanek mnogih spojin, vključno s prostimi maščobnimi kislinami, monoacilgliceroli, diacilgliceroli, hlapnimi spojinami, cikličnimi spojinami, geometričnimi izomerami nenasičenih maščobnih kislin, itd.

### **2.2 KAKOVOST OLJ ZA CVRTJE**

#### **2.2.1 Vloga olj med cvrtjem**

Olje daje ocvrtemu živilu teksturo, okus, dober občutek v ustih in pookus; to so lastnosti, ki naredijo ocvrto živilo tako okusno (Gupta, 2005).

Olja za cvrtje se uporabljajo za domačo uporabo, v restavracijah in živilski industriji. Doma ocvrta hrana se zaužije takoj po pripravi. Tudi v restavracijah se hrana ocvre po naročilu in se zaužije kmalu po pripravi. Olje za cvrtje se vedno smatra kot sprejemljivo doma in v restavracijah, dokler daje dober okus in teksturo ocvrti hrani, prav tako ni nobenih skrbi glede roka trajanja teh ocvrtih živil, ker se takoj zaužijejo. Industrijsko ocvrta hrana je pakirana in distribuirana po celem svetu in včasih traja več tednov ali celo mesecev do prodaje. Zato morajo imeti ti izdelki dober okus in teksturo tudi po določenem času. Olja (maščobe) uporabljena za industrijsko cvrtje morajo imeti dobro oksidativno stabilnost in okus, da zagotavljajo dolg rok trajanja ocvrtim živilom (Gupta, 2005).

Olje za cvrtje ne deluje le kot medij za prenos toplote, ampak vpliva tudi na okus. Na okus lahko vpliva na dva načina (Pokorný, 1989):

- cvrto živilo absorbira maščobo, ki prodira v pore in se delno absorbira kot tanek sloj na površini ocvrtega živila, zaradi česar živilo vsebuje več maščobe in je posledično bolj okusno,
- olja za cvrtje so podvržena različnim kemijskim reakcijam in produkti teh reakcij spreminjajo okus ocvrtih živil.

### 2.2.2 Izbira olj/maščob za cvrtje

Komercialno se za cvrtje uporablja široka paleta maščob, od nehidrogeniranih prečiščenih maščob do mešanic delno in popolnoma hidrogeniranih maščob.

Na izbiro ustreznega olja/maščobe za cvrtje vplivajo naslednji kriteriji:

- okus živila,
- tekstura živila,
- izgled živila,
- občutek v ustih,
- priokus,
- rok trajanja živila,
- razpoložljivost olja,
- cena,
- prehranske zahteve (Gupta, 2005).

Okus, aroma in izgled so navadno najpomembnejše lastnosti, ki jih potrošnik zazna pri ocvrti hrani. Sledijo tekstura, občutek v ustih in pookus. Rok trajanja je pomemben zaradi kakovosti in ekonomskih vzrokov. Kakovost in okus olja imata velik vpliv na stabilnost okusa ocvrtega izdelka med skladiščenjem. Razpoložljivost in cena olja sta pomembna ekonomska dejavnika. Tudi najboljše olja za cvrtje ne prispevajo k uspešnosti poslovanja, če niso dobavljiva v zadostnih količinah. Strošek olja je kritičen dejavnik v industriji. Večina ocvrtih prigrizkov vsebuje od 20 do 40 % olja, zato morajo podjetja zmanjšati strošek olja na minimum (Gupta, 2005).

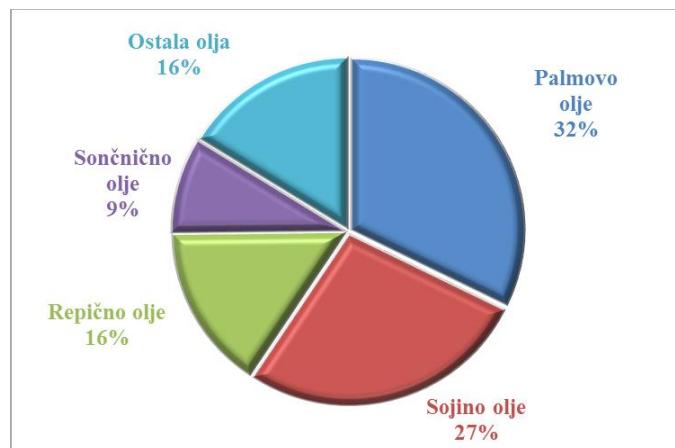
Maščobe, ki se uporabljajo za cvrtje živil, ki se zaužijejo takoj po uporabi (v restavracijah), se po sestavi razlikujejo od maščob, ki se uporabljajo za cvrtje živil, ki se uživajo po določenem času shranjevanja. V glavnem je uspešnost cvrtja in stabilnost olja v veliki meri odvisna od količine skupnih oksidirajočih polinenasičenih maščobnih kislin (Frankel, 2005).

Jedilna rafinirana rastlinska olja morajo glede kakovosti izpolnjevati naslednje pogoje (Pravilnik o kakovosti..., 2003):

- so pri temperaturi 25 °C bistra;
- imajo zanje značilno barvo;
- sta okus in vonj pri temperaturi 25 °C blaga, prijetna in značilna za to olje, brez tujega in žarkega vonja in okusa;
- vsebujejo največ 0,3 % prostih maščobnih kislin (kot oleinska);

- vsebujejo največ 0,2 % vode in drugih hlapnih snovi;
- peroksidno število znaša največ 7 mmol O<sub>2</sub>/kg olja;
- vsebujejo največ 50 mg/kg mila (kot Na-oleinata).

Olja z visoko vsebnostjo nasičenih maščobnih kislin so bolj stabilna med cvrtjem, vendar se je zaradi negativnih stranskih učinkov, ki jih z njimi povezujejo, povečal interes po uporabi mononenasičenih olj za cvrtje (McDonald in Eskin, 2007).



Slika 1 Svetovna proizvodnja jedilnih olj v letih 2008/2009 (Gunstone, 2011)

Figure 1 World edible oil production in 2008/2009 (Gunstone, 2011)

Sojino, repično in sončnično olje predstavljajo več kot polovico svetovne proizvodnje jedilnih olj.

#### 2.2.2.1 Sojino olje

Sojino olje se proizvaja v večjih količinah in je na drugem mestu svetovne proizvodnje, takoj za palmovim oljem. Glavni proizvajalci sojinega olja so Združene države Amerike, Brazilija, Argentina, Kitajska in države Evropske unije (Gunstone, 2011).

Soja je prevladujoče oljno seme, proizvedeno na svetu zaradi ugodnih agronomskih karakteristik, visokokakovostnih proteinov in cenjenega jedilnega olja. Proizvodnja soje je pomembna predvsem zaradi velikih potreb po sojinih proteinih, ki se v veliki meri uporabljajo kot dodatek krmi za perutnino, svinjino in govedo (Wang, 2011), sojino olje pa je stranski proizvod.

Sojino olje ima večjo vsebnost linolne kisline in manjšo vsebnost linolenske kisline. Obe sta esencialni maščobni kislini za ljudi in sta prehransko pomembni, vendar pa povzročata oksidativno nestabilnost sojinega olja. Vsebnost linolne kisline v sojinem olju je nekoliko manjša kot v koruznem in sončničnem olju in dvakrat večja kot v repičnem olju. Sojino in repično olje sta edini rastlinski olji, ki vsebujeta precejšnjo količino linolenske kisline (Wang, 2011).



#### 2.2.2.2 Repično olje

Repično olje pridobivajo iz oljne repice oziroma oljne ogrščice vrst *Brassica napus* in *Brassica campestris*. Repično olje zaseda 3. mesto v proizvodnji olj in masti. Proizvaja se na Kitajskem, v državah Evropske unije, v Indiji, Kanadi in na Japonskem (Gunstone, 2011).

V zadnjih dveh desetletjih je proizvodnja oljne repice dosegla 2. mesto, takoj za sojo (Przybylski, 2011).

Repično olje nekateri smatrajo s prehranskega stališča kot eno najboljših olj. V prehranske namene se uporablja samo repično olje z majhno vsebnostjo eruka kisline (manj kot 2 %). Stabilnost repičnega olja je omejena predvsem s prisotnostjo linolenske kisline, klorofila in njegovih razgradnih produktov, ter drugih spojin z visoko kemijsko reaktivnostjo, kot so maščobne kisline z več kot tremi dvojnimi vezmi, ki jih najdemo v sledovih. Te visoko nenasičene maščobne kisline lahko nastanejo med postopki rafinacije in beljenja. Nizka skupna nenasičenost repičnega olja (okrog 30 % v primerjavi z 58 % za sojino olje) in velika vsebnost mononenasičenih maščobnih kislin (okrog 60 % v primerjavi s 25 % za sojino olje) sta glavna dejavnika za dobro stabilnost okusa repičnega olja, kljub prisotnosti linolenske kisline. Raziskovalci so ugotovili, da je v oljih za cvrtje potrebne do 2 % linolenske kisline, da se oblikuje karakteristični okus ocvrtih živil. To je zaradi nastanka oksidacijskih produktov iz linolenske kisline, ki so glavni dejavniki oblikovanja okusa ocvrtih živil. Repično olje vsebuje tudi večjo količino naravno prisotnih  $\alpha$ -tokoferolov (približno 270 mg/kg) v primerjavi s sojinim oljem (približno 116 mg/kg) (Przybylski, 2011).

#### 2.2.2.3 Sončnično olje

Sončnično olje se pridobiva iz semen sončnice vrste *Helianthus annuus* (Enig, 2000).

Sončnično olje je na zadnjem mestu v skupini štirih najpogosteje uporabljenih olj in masti. Glavni proizvajalci sončničnega olja so Rusija, države Evropske Unije in Argentina (Gunstone, 2011).

Sončnično seme vsebuje 35-50 % olja. Vsebuje 44-66 % polinenasičenih maščobnih kislin in okrog 10 % nasičenih maščobnih kislin (Gunstone, 2011).

Po kemijski sestavi uvrščamo sončnično olje v skupino olj linolne kisline (dvakrat nenasičena), saj vsebuje največ linolne kisline (60-70 %). V to skupino spada tudi sojino olje (Enig, 2000).

Sončnično olje je eno najbolj uporabljenih rastlinskih olj in v nekaterih državah ga raje uporabljajo kot sojino, bombažno in palmino olje. Na žalost sončnice uspevajo samo na omejenih geografskih območjih (Grompone, 2011).

### 2.2.3 Priporočene lastnosti svežega olja za cvrtje

Olja/maščobe morajo biti ustrezne kakovosti, da ne spreminjajo svojih lastnosti med skladiščenjem, ter da je njihova razgradnja med cvrtjem čim počasnejša; kar ima vpliv tudi na kakovost ocvrtih živil.

V preglednici 1 so naštetih zaželeni kvalitativni parametri za olja za cvrtje. Olje mora vsebovati malo prostih maščobnih kislin, imeti nizko peroksidno in anizidinsko število, vsebovati mora malo konjugiranih dienov, monoacilglicerolov, diacilglicerolov in nečistoč v sledovih (železo, fosfor, kalcij, magnezij). Vsak od teh parametrov vpliva na obstojnost olja za cvrtje. Vsebnost linolenske kisline mora biti majhna, da se zagotovi največja možna oksidativna stabilnost olja (Gupta, 2005).

**Preglednica 1** Priporočeni analitični parametri za sveža olja za cvrtje (rafinirana, beljena, deodorizirana) (Gupta, 2005)

**Table 1** Recommended analytical parameters of fresh frying oils (refined, bleached, deodorized) (Gupta, 2005)

parameter	zaželena vrednost	največja vrednost
proste maščobne kisline (%)	0,03	0,05
peroksidno število (meq/kg)	< 0,5	1,0
p-anizidinsko število	< 4,0	6,0
konjugirani dieni (%)	sled	< 0,5
polarne spojine (%)	< 2,0	< 4,0
polimeri (%)	< 0,5	< 1,0
fosfor (mg/L)	< 0,5	< 1,0
železo (mg/L)	< 0,2	< 0,5
kalcij (mg/L)	< 0,2	< 0,5
magnezij (mg/L)	< 0,2	< 0,5
monoacilgliceroli (%)	pod mejo detekcije	sled
diacilgliceroli (%)	< 0,5	< 1,0

Kakovost olja se začne pri semenu. Semena, ki so fizično poškodovana, onesnažena z insekti, plesniva, presuha ali prevlažna, dajejo slabo kakovost surovega olja. Tako pridobljeno surovo olje ima lahko povečan delež prostih maščobnih kislin in oksidacijskih produktov, ki povzročijo, da je olje manj stabilno tudi po rafinaciji (Gupta, 2005).

Vse bolj pomembna postaja prehranska kakovost olja. Za zagotavljanje potrošnikovih želja mora imeti olje naslednje lastnosti (Drummond, 2005):

- vsebnost nasičenih maščobnih kislin  $\leq 20$  %,
- skupna vsebnost trans maščobnih kislin  $\leq 1$  %,
- vsebnost linolenske kisline  $\leq 3$  % skupnih maščobnih kislin,
- visoko oksidativno stabilnost in dober okus.

To je zahteven izziv proizvajalcev ocvrtih živil, ker so taka olja na voljo samo v omejenih količinah. Olja s takimi lastnostmi vključujejo sončnično olje z veliko vsebnostjo oleinske kisline, repično olje z veliko vsebnostjo oleinske in majhno vsebnostjo linolenske kisline, oljčno olje, olje riževih otrobov in nekatere mešanice teh tipov (Drummond, 2005).

### 2.3 SPREMEMBE V OLJIH MED CVRTJEM

Cvrtje je zapleten proces v katerem hkrati potekajo toplotni in masni prenos ter kemijske reakcije. Kljub temu, da so pri postopku cvrtja količina olja v cvrtniku, temperatura, količina živila, tip olja in cvrtnik konstante, se ocvrto živilo spreminja tekom dneva. Te spremembe nastajajo zaradi sprememb olja. Olje najmočneje vpliva na kakovost ocvrtih živil (Stier, 2004).

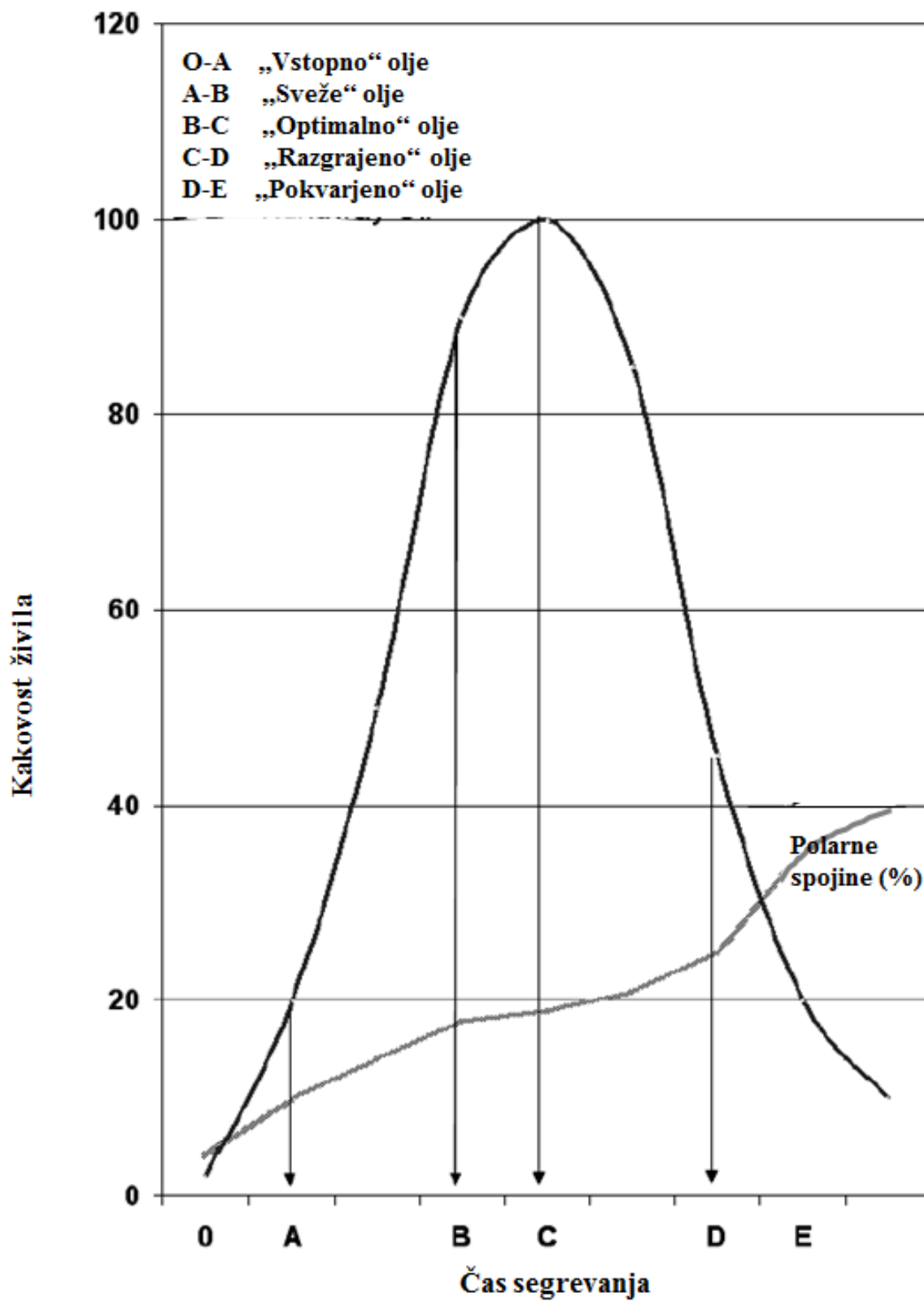
Blumenthalova teorija »površinsko aktivnih snovi« vključuje naslednje osnovne predpostavke (Stier, 2004):

- Prenosnik toplote, olje, je brezvodni material in živilo, ki se pripravlja v olju je v večini sestavljeno iz vode. Olje in voda se ne mešata.
- Da se cvrtje začne, se mora toplota prenesti iz nevodnega medija, olja, na večinoma vodni medij, živilo.
- Proces cvrtja je v osnovi proces dehidracije. Ko se živilo cvre, voda in drugi materiali v vodi prehajajo, se prečrpajo iz živila v olje. Izpiranje sestavin živila v olje, razgradnja samega olja ter absorpcija kisika na stiku med oljem in zrakom, prispevajo k spremembi olja iz skoraj čistega triacilglicerola (> 96 %) v mešanico mnogoterih spojin.
- Kontinuirano naraščanje prenosa toplote v olju, vključno s stikom olje-živilo, se kaže v razgradnih produktih, nastalih kot posledica razgradnje olja.
- Snovi, ki vplivajo na toplotni prenos na stiku olje-živilo, morajo delovati tako, da zmanjšajo površinsko napetost med dvema nezdružljivima snovema. Te snovi delujejo kot surfaktanti ali površinsko aktivne snovi.
- Z razgradnjo olja nastaja več površinsko aktivnih snovi, ki povzročajo povečan kontakt med živilom in oljem, pretirano vpijanje olja v živilo in povečan prenos toplote na površini živila, ki povzroča preveliko sušenje in potemnenje površine.

Površinsko aktivne snovi so snovi, ki so topne v olju in vodi in so sestavljene iz hidrofilnih in lipofilnih spojin (Stier, 2004).

#### **Krivulja kakovosti olja za cvrtje (slika 2)**

Ob začetku procesa cvrtja bi moralo biti olje v cvrtniku sveže in cvrtnik čist. Krompir ocvrt v takem olju je še surov oz. nekuhan, svetle barve in nima značilnega vonja po ocvrtem krompirju. Tako »vhodno« olje nima nič ali malo površinske napetosti, zato se toplota ne prenaša na živilo. Med oljem in živilom je majhen kontakt. Voda, ki prehaja iz živila, odriva olje od površine živila. Brez direktnega kontakta ne more potekati prenos toplote s kondukcijo. Površina ostaja nekuhana, škrob ne želira in živilo absorbira malo olja. Kontaktni čas med živilom in oljem je 10 % dejanskega časa cvrtja (Stier, 2004).



Slika 2 Krivulja kakovosti olja za cvrtje (Stier, 2004)

Figure 2 Frying oil curve (Stier, 2004)

Med zgodnjimi fazami cvrtja površinska napetost naraste in kot rezultat se izboljša kakovost živila. Te faze so znane kot »sveže« in »optimalne« faze. Krompir, ocvrt v »optimalnem« olju, je zlato rjave barve, dovolj toplotno obdelan, skorja je optimalno debela, količina olja, vpitega v krompir, je primerna in krompir ima zaželen slasten vonj. Del optimiziranja procesa cvrtja je vzdrževanje olja v tej »optimalni« fazi tako dolgo, kot je mogoče. To je lažje doseči v industrijskem merilu, kjer se olje, ki se absorbira v živilo, sproti nadomešča s svežim. Med »svežo« fazo predstavlja stik med oljem in živilom 20 % dejanskega časa cvrtja in med »optimalno« fazo 50 % dejanskega časa cvrtja. Podaljšani kontaktni čas dopušča toploti olja prodor v notranjost krompirja s kondukcijo, dobimo popolnoma kuhan krompir. Porjavenje površine je rezultat kontakta med živilom in oljem ter prisotnostjo sladkorjev (Stier, 2004).

Ko se začne olje razgrajevati, je proces ireverzibilen. Ne glede na to kako si proizvajalec želi obdržati olje v »optimalni« fazi, se v olju nadaljujejo razgradni procesi in vstopa v naslednje faze kvara. Med temi fazami je kontaktni čas med oljem in živilom 80 oz. 100 %. Ocvrt krompir ali katerokoli drugo živilo, proizvedeno v takšnem olju je vedno slabe in nesprejemljive kakovosti. Ocvrt krompir ima temno in pikasto oljavo površino, skorja je debela in trda, tekstura je mlahava. Prevelik kontakt olja s površino živila hitro posuši in odebeli površino, vlago v živilu ujame v past in onemogoči prenos toplote do centra. Zato ocvrt krompir v sredini ni kuhan, kljub daljšem času kontakta z oljem. Živila proizvedena v takem olju imajo tuje priokuse (zažgano, grenko) in imajo krajši rok trajanja. Posledica uporabe olj, ki so dosegla fazo kvara, je proizvodnja živil slabe kakovosti. Zaradi znižanja točke dimljenja se ustvari delovno okolje, ki je nevarno in nezdravo (Stier, 2004).

Sestava olja med cvrtjem je prikazana v preglednici 2.

**Preglednica 2** Razgradnja olja med cvrtjem mešanih živil (Blumethal in Stier, 1991)

**Table 2** Oil degradation during mixed-use frying (Blumethal and Stier, 1991)

kakovost olja	trigliceridi (%)	polarne spojine (%)	polimeri (%)	proste maščobne kisline (%)	oksidirane maščobne kisline (%)	mila (mg/L)
olje pred cvrtjem	>96	<4	0,5	0,02	0,01	0-7
»vhodno olje«	90	10	2	0,5	0,08	10
»sveže olje«	85	15	5	1,0	0,2	35
»optimalno olje«	80	20	12	3,0	0,7	65
»razgrajeno olje«	75	25	17	5,0	1,0	>150
»pokvarjeno olje«	65	35	25	8,0	2,0	>200

V živilu in olju sočasno poteka veliko fizikalnih in kemijskih reakcij (Gupta, 2005):

- spremembe v živilu:
  - ✓ živilo izgublja vlago,
  - ✓ površina živila potemni, včasih nastane tudi trda skorja.
  - ✓ ocvrto živilo razvije trdnejšo (ali hrustljivo) teksturo,
  - ✓ v ocvrtem živilu se razvijeta tudi ustrezen okus in aroma;
- spremembe v olju:
  - ✓ hidroliza,
  - ✓ avtooksidacija,
  - ✓ oksidativna polimerizacija,
  - ✓ toplotna polimerizacija,
  - ✓ olje v cvrtniku postane temnejše.

Vse naštetе kemijske reakcije vplivajo na kemijsko strukturo molekul olja. Najbolj so na udaru nenasičene maščobne kisline. Med postopkom cvrtja nastajajo zaželene in nezaželene kemijske spojine. Olja, ki se absorbirajo v sveže ocvrtih živilih vsebujejo enake spojine, kot so prisotne v olju za cvrtje. Zaželene sestavine pomagajo zagotavljati dober okus sveže ocvrtemu živilu. Včasih pa lahko nezaželene sestavine olja vplivajo na okus ocvrtega živila. V mnogih primerih je možno, da ocvrta živila z dobrim okusom razvijejo žarek okus med shranjevanjem. To se zgodi, ker so produkti oksidacije olj močni katalizatorji in povzročajo nadaljnjo razgradnjo olja, ki ga živilo vsebuje, med njegovim shranjevanjem. Ta pojav je še bolj izražen, ko je olje že podvrženo razgradnji med cvrtjem, ter še bolj, če je živilo ocvrto v olju, ki je bilo že kot sveže slabe kakovosti. Zaradi tega je oksidativna stabilnost olja za proizvodnjo pakiranih ocvrtih izdelkov zelo pomembna za doseganje zelenega roka trajanja produkta (Gupta, 2005).

Potemnenje površine ocvrtega živila nastane zaradi kemijskih reakcij med oljem za cvrtje in oljem, prisotnem v živilu (lipidi na splošno), ter proteini in saharidi, prisotnimi v živilu. Ta reakcija se imenuje Maillardova reakcija, ki je odgovorna za naslednje parametre kakovosti (Gupta, 2005):

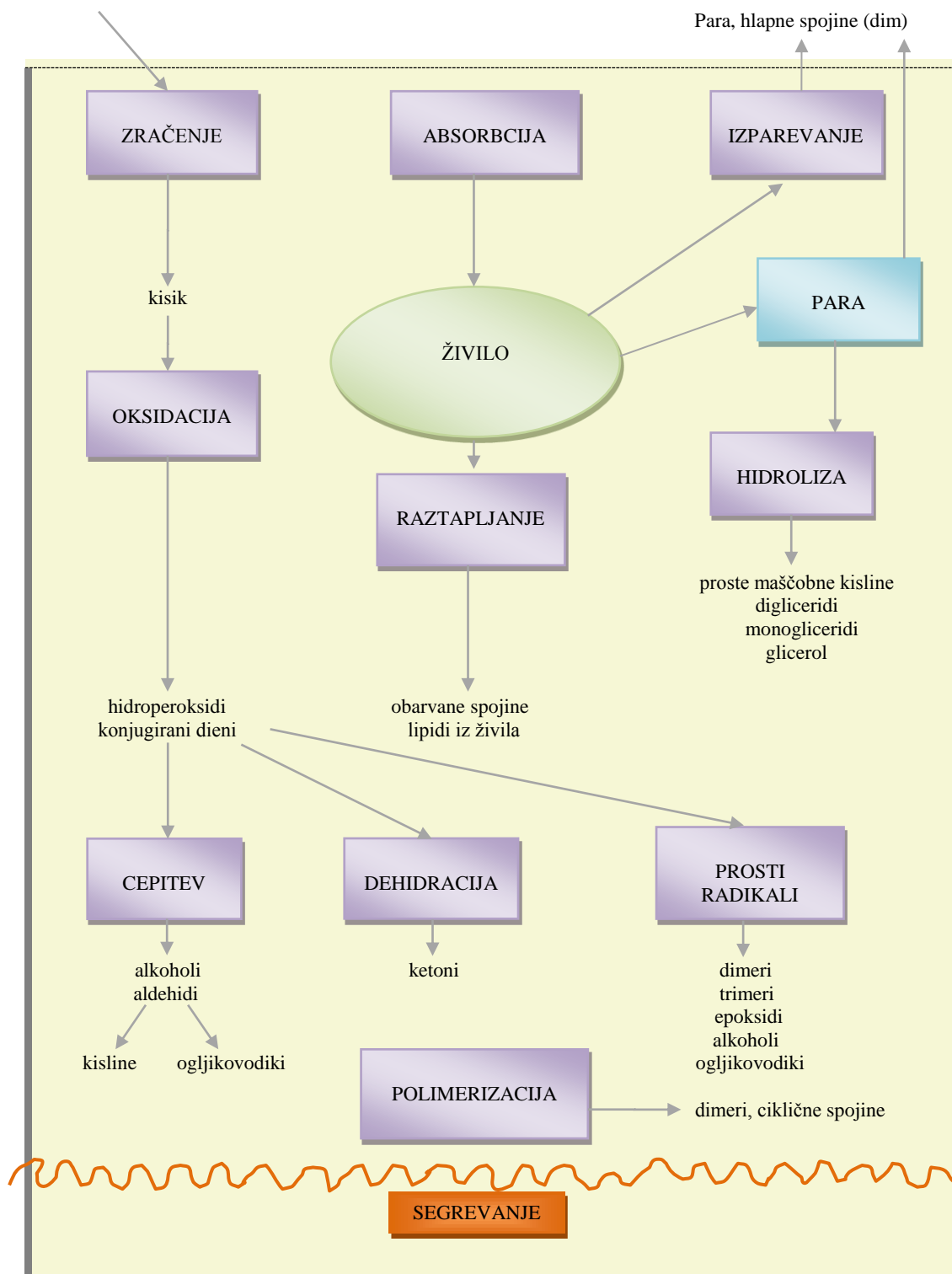
- rjavo ali temno rjavo površino ocvrtega živila,
- okus ocvrtega živila,
- reakcija porjavenja zagotavlja tudi določeno zaščito proti fotooksidaciji.

Olje za cvrtje spreminja sestavo in okus ocvrtih živil in obratno, ocvrto živilo vpliva na sestavo in okus olja za cvrtje (Pokorný, 1989):

- z izmenjavo maščob med živilom in oljem,
- z reagiranjem oksidiranih produktov olja z raznimi spojinami cvrtega živila,
- z absorpcijo pretežno polarnih produktov iz olj.

Cvrto živilo vpliva tudi na stopnjo hidrolitskih in oksidacijskih procesov v olju. Aminokisline, proteini in fenolne spojine preprečujejo oksidacijske reakcije in cvrto živilo, bogato s proteini (kot npr. meso), odstranjuje oksipolimere in aldehide iz olja. Migracija maščob iz cvrtega živila v olje lahko poveča stopnjo nenasičenja in posledično sestavo hlapnih spojin v olju (Pokorný, 1989).

Spremembe, ki se pojavljajo v olju in v živilu med cvrtjem, so prikazane na sliki 3.



**Slika 3** Spremembe, ki se pojavljajo v olju in živilu med cvrtjem (Orthofer in List, 2007)  
**Figure 3** Changes occurring during frying in oil and food (Orthofer and List, 2007)

### 2.3.1 Kemijske spremembe

Olja za cvrtje ne prenašajo le toplote za kuhanje živila, ampak pomagajo pri oblikovanju značilnega okusa po ocvrtem, ter na žalost tudi pri oblikovanju neželenih tujih okusov, če se uporablja olje, ki je že razgrajeno. Med cvrtjem potekajo različni kemijski procesi (hidroliza, oksidacija in polimerizacija). Olja se razgrajujejo in tvorijo hlapne spojine, ter nehlapne monomerne in polimerne spojine. S kontinuiranim gretjem in cvrtjem, se te spojine še dalje razgrajujejo, dokler se razgradni produkti ne nakopičijo do takšne mere, da nastanejo tuji vonji in potencialno toksični vplivi, zaradi katerih olje postane neprimerno za uporabo. Količina produktov, ki nastajajo in njihova kemična zgradba je odvisna od številnih dejavnikov, vključno z oljem in vrsto živila, pogoji cvrtja in dostopa kisika. Reakcije hidrolize, oksidacije in polimerizacije so med seboj povezane in povzročajo nastanek številnih kompleksnih produktov (Warner, 2002).

Kemijske spremembe (Warner, 2002):

- povišana vsebnost prostih maščobnih kislin,
- povišana vsebnost ogljikovih spojin,
- povišana vsebnost visoko molekularnih produktov,
- zmanjšana stopnja nenasičenja,
- zmanjšana kakovost okusa,
- zmanjšana prehranska vrednost (esencialne maščobne kisline).

#### 2.3.1.1 Oksidacija

Olje med cvrtjem oksidira. Avtooksidacija je ena glavnih reakcij, ki potekajo med cvrtjem in posledično v olju prisotnem v pakiranem živilu med shranjevanjem. Avtooksidacija nenasičenih maščobnih kislin se začne s prostim radikalom, ki se tvori v olju, ko je nenasičena maščobna kislina izpostavljena kisiku v prisotnosti kovinskih katalizatorjev, kot so železo, nikelj ali baker. Maščobna kislina je lahko maščobnokislinski ostanek na molekuli triacilglicerola, lahko pa je prosta maščobna kislina, ki je prisotna v svežem olju ali nastane v olju s hidrolizo med cvrtjem. Mehanizem avtooksidacije vključuje več korakov (Gupta, 2005; Shahidi in Wanasundara, 2002):

1. korak: iniciacija



Kovinski katalizator povzroči nastanek prostega alkilnega radikala ( $R^{\bullet}$ ) iz nenasičene maščobnokislinske molekule.

Za to reakcijo so potrebni naslednji pogoji:

- kovinski katalizator (železo, nikelj, baker) mora biti v kontaktu z nenasičeno maščobno kislino,
- vročina običajno pospeši proces nastanka prostih radikalov in naslednjih korakov,



- fosfolipidi, monoacilgliceroli in diacilgliceroli lahko zmanjšajo medfazno napetost med oljem in zrakom, kar poveča količino kontakta med oljem in zrakom med cvrtjem in pospeši avtooksidacijo,
- kalcij in magnezij povzročita nastanek mila v reakciji s prostimi maščobnimi kislinaми v olju za cvrtje; milo se lahko obnaša enako kot fosfolipidi, povzroča povečano avtooksidacijo v olju za cvrtje.

## 2. korak: propagacija

Prosti radikal reagira z molekulo kisika, nastane peroksi (alkoksi) radikal (ROO<sup>•</sup>). Prisotnost kisika je nujno potrebna. Zaradi tega olje ne oksidira, ko je shranjeno pod vakuumom ali v embalaži nasičeni z dušikom.



Korak propagacije vključuje indukcijski čas, ko je nastanek hidroperoksidov majhen. Stopnja oksidacije maščobnih kislin narašča v povezavi z njihovo stopnjo nenasičenosti. Razgradni produkti hidroperoksidov, kot so alkoholi, aldehidi, ketoni in ogljikovodiki, imajo ponavadi neprijetne vonje. Te spojine lahko reagirajo tudi z drugimi spojinami živil in spremenijo njihove funkcionalne in prehranske lastnosti.

V tem koraku peroksi radikal reagira z molekulo nenasičene maščobne kisline, nastane molekula hidroperoksida in sprosti naslednji prosti alkilni radikal, ki lahko nato reagira z molekulo kisika in ponovno nastane peroksi (alkoksi) radikal. Ta korak poteka hitreje in bolj kompleksno, če olje vsebuje linolensko kislino.

Hidroperoksidi so zelo nestabilni in se razgradijo v aldehide, ketone, ogljikovodike, alkohole in mnoge druge reakcijske produkte, ko oksidacija olja napreduje. V realnosti se te reakcije lahko nadaljujejo med shranjevanjem pakiranih živil, ker se olje v živilu še dalje razgrajuje preko avtooksidacije in razvija oksidiran ali žarek okus živila.

## 3. korak: terminacija

Prosti radikali reagirajo drug z drugim.



Te reakcije potečejo, ko:

- v sistemu ni ostalo več nenasičenih maščobnih kislin ali
- v sistemu ni več prisotnega kisika.

Prosti radikali se tvorijo kadarkoli se olje, ki vsebuje nenasičene maščobne kisline greje v prisotnosti kovinskih katalizatorjev. Prosti radikali se tvorijo v olju med cvrtjem.

Kovinski katalizator v procesu cvrtja lahko prihaja iz številnih virov (Gupta, 2005):

- živila, ki se cvre,
- samega olja,
- ostankov kovin; ostanki kovin so prisotni v surovih oljih v zelo majhnih količinah, delih na milijon (mg/L). Raziskovalci so ugotovili, da se okus sojinega olja razgradi zaradi avtooksidacije, celo, če je količina železa samo 0,3 mg/L v deodoriziranem olju. Kovinski iniciatorji sprožijo avtooksidacijo v vseh rastlinskih oljih in živalskih maščobah. Ostanki kovin v surovem olju se odstranijo med beljenjem in rafiniranjem. Zaradi neprimerne beljenja olja so lahko ostanki kovin v olju prisotni v visokih koncentracijah, kar lahko pospeši avtooksidacijo v cvrtniku. Tudi atmosfersko beljenje, slab vakuum v belilniku, visoka temperatura v belilniku ali slab vakuum v deodorizatorju lahko povzročijo nastanek prostih radikalov v svežem olju. Ti prosti radikali lahko hitro oksidirajo olje v cvrtniku.

Olje hitro oksidira med cvrtjem, če vsebuje visoke vsebnosti naslednjih parametrov (Gupta, 2005):

- peroksidno število > 1,0
- p-anizidinska vrednost > 6,0
- železo > 0,3 mg/L
- konjugirani dieni > 0,5 %
- polarne spojine > 4,0 %
- polimeri > 2,0 %

Primernost posameznega olja ali masti za uporabo za cvrtje izračunamo s pomočjo relativne stabilnosti. Relativna stabilnost se nanaša na obseg in vrsto nenasičenosti maščobnih kislin v masti ali olju in relativne reakcijske stopnje maščobnih kislin s kisikom. V preglednici 3 so navedene približne relativne reakcijske stopnje nenasičenih maščobnih kislin s kisikom (Erickson, 2007).

**Preglednica 3** Relativne reakcijske stopnje nenasičenih maščobnih kislin s kisikom (Erickson, 2007)

**Table 3** Relative reaction rates of unsaturated fatty acids with oxygen (Erickson, 2007)

nenasičena maščobna kislina	približna relativna reakcijska stopnja s kisikom
oleinska kislina	1
linolna kislina	10
linolenska kislina	25

Primer izračuna relativne stabilnosti je prikazan v preglednici 4.

**Preglednica 4 Primer izračuna relativne stabilnosti sojinega olja (Erickson, 2007)**

**Table 4 Sample calculation of inherent stability of soy oil (Erickson, 2007)**

nenasičena maščobna kislina	odstotek nenasičene maščobne kisline v olju	izračun približne relativne reakcijske stopnje s kisikom
oleinska kislina	22,8	$0,228 \times 1 = 0,228$
linolna kislina	51,0	$0,510 \times 10 = 5,100$
linolenska kislina	6,8	$0,068 \times 25 = 1,700$
		$V_{sota} = 7,028$
		relativna stabilnost $\sim 7,0$

Manjša kot je relativna stabilnost, bolj je olje primerno za cvrtje (Erickson, 2007).

Kisik, ki je prisoten v svežem olju, kisik, ki pride v olje na površini olja ter kisik iz živila, aktivirajo serijo reakcij, ki povzročijo nastanek prostih radikalov, hidroperoksidov in konjugiranih dienov. Kemijske reakcije, ki se pojavljajo med oksidacijo doprinesejo k nastanku hlapnih in nehlapnih razgradnih produktov. Mehanizem oksidacije med cvrtjem je podoben avtooksidaciji pri 25 °C, vendar pa se nestabilni primarni oksidacijski produkti – hidroperoksidi – hitro razgradijo pri 190 °C v sekundarne oksidacijske produkte, kot so aldehidi in ketoni. Hlapni sekundarni oksidacijski produkti doprinesejo k vonju olja in okusu ocvrtega živila. Če so sekundarni oksidacijski produkti nenasičeni aldehidi, kot so 2,4-dekadienal, 2,4-nonadienal, 2,4-oktadienal, 2-heptenal ali 2-oktenal, prispevajo k značilnemu zaželenemu ocvrtemu okusu v oljih. Nasičeni aldehidi in nenasičeni aldehidi, kot so heksanal, heptanal, oktanal in 2-dekanal, pa imajo značilen tuj vonj. Prevladujoči tuji vonji toplotno obdelanih visoko oleinskih olj so sadni in po plastiki in jih lahko pripisujemo heptanalu, oktanal, nonanalu in 2-decenalu (Warner, 2002).

Analiza primarnih oksidacijskih produktov, kot so hidroperoksidi, v katerikoli fazi procesa cvrtja, zagotavlja nezanesljivo informacijo, ker njihov nastanek in razgradnja hitro niha in se ne da predvidet. Hlapni razgradni produkti so običajno nasičene in mononenasičene hidroksi, aldehidne, keto in dikarboksilne kisline, ogljikovodiki, alkoholi, aldehidi, ketoni in aromatične spojine (Warner, 2002).

Oksidacija nenasičenih maščob ni pospešena samo pri visokih temperaturah, spremeni se tudi mehanizem prostih radikalov z zmanjšanjem koncentracije kisika v segrevanih oljih. Pri povišanih temperaturah je dostopnost kisika manjša in postane limitirajoča. Alkilni radikali, ki nastanejo med iniciacijo, postanejo pomembnejši, ker je stopnja oksigenacijske reakcije zmanjšana pri povišanih temperaturah. Terminacijske reakcije postanejo tudi pomembnejše, ker alkilni radikali kondenzirajo v bolj stabilne produkte z visoko molekulsko maso (Frankel, 2005).

Obstajata dva mehanizma toplotne oksidacije nenasičenih maščob (Frankel, 2005):

- toplotna razgradnja z direktnimi interakcijami radikalov, ko se nenasičene maščobe kontinuirano segrevajo pri povišanih temperaturah,

- inducirana razgradnja preko intermediatov hidroperoksidov, ko so nenasičene maščobe podvržene segrevanju s prekinitvami. Pod temi pogoji hidroperoksidi, ki nastajajo pri nižjih temperaturah, prispevajo več radikalov z razgradnjo, ko se maščobe ponovno segrevajo. Prekinjeno segrevanje nenasičenih maščob slabše vpliva na njihovo razgradnjo kot kontinuirano segrevanje.

### 2.3.1.2 Hidroliza

Hidrolitski procesi so odvisni od temperature cvrtja in površine med oljno in vodno fazo. Vodna faza je lahko cvrto živilo, vodne kapljice ali mehurčki pare. Med postopkom cvrtja voda migrira v oljno fazo in se raztaplja (pri temperaturah od 150-200 °C je voda veliko bolj topna v jedilnih oljih in masteh kot pri sobni temperaturi) in takrat lahko hidrolizira triacilglicerole v proste maščobne kisline in diacilglicerole. Diacilgliceroli se hidrolizirajo z naslednjo molekulo vode v monoacilglicerole in ti se hidrolizirajo v glicerol in proste maščobne kisline. Glicerol, ki je relativno hlapen pri 150-200 °C, se delno izgubi z izhlapevanjem med cvrtjem in ravnotežje reakcije se premakne v prednost hidrolitskih produktov. Stopnja hidrolize je večja pri kontaktu olja s tekočo vodo, kot pri kontaktu s paro (Pokorný, 1989).

Produkti hidrolize zmanjšajo stabilnost olj za cvrtje in se lahko uporabljajo za merjenje razgradnje olja (npr. proste maščobne kisline) (Warner, 2002).

Čeprav je normalno, da se v olju pojavi hidroliza, je vseeno potrebna prisotnost površinsko aktivne snovi. Do hidrolize ne more priti, če med oljem in vodo ne nastane raztopina. Olje in voda se ne mešata, razen pri visokih temperaturah pod visokim pritiskom, ali če je prisotna površinsko aktivna snov (Gupta, 2005).

Viri površinsko aktivnih snovi (Gupta, 2005):

- sveže olje:
  - ✓ vsebnosti fosfolipidov, kalcija in magnezija višje od normalnih v svežem olju (slaba kakovost surovega olja; slabo rafiniranje, ki pusti večjo vsebnost fosforja, kalcija in magnezija; slabo stanje beljenja, ki prav tako pusti sledove fosforja, kalcija in magnezija; slabi pogoje žetve in skladiščenja semen pred mletjem, s katerim dobimo olje, ki ga je težko rafinirati),
  - ✓ ostanek mila v olju kot posledica slabega splahnjevanja vode in beljenja,
  - ✓ visok delež diacilglicerolov in monoacilglicerolov v rafiniranem olju kot rezultat:
    - slabe kakovosti surovega olja, ki zahteva dodatno kavstično obdelavo,
    - večkratnega rafiniranja zaradi slabe kakovosti surovega olja,
    - predoziranja alkalij v postopku rafinacije kot rezultat slabe procesne kontrole,
    - visoke temperature rafiniranja;
- živilo: živila vsebujejo mnogo naravno prisotnih spojin, ki imajo površinsko aktivne lastnosti. Kovine, naravno prisotne v živilih, lahko povzročijo nastanek mila z reagiranjem s prostimi maščobnimi kislinami v olju. Mila, nastala v oljih lahko povzročijo nastanek oljne/vodne raztopine v cvrtniku in pospešijo hidrolizo v olju;

- razgradni produkti olj: nekateri razgradni produkti olj imajo površinsko aktivne lastnosti;
- slabo splahnjevanje cvrtnika po čiščenju: v cvrtniku, ki po čiščenju ni dobro spran, ostane čistilo, kar pospeši hidrolizo.

Proste maščobne kisline v olju naraščajo med shranjevanjem, če olje vsebuje večje vsebnosti (Gupta, 2005):

- fosforja > 1 mg/L
- kalcija > 0,3 mg/L
- magnezija > 0,3 mg/L
- natrija > 0,2 mg/L
- diacilglicerolov > 1,5 %
- monoacilglicerolov > 0,4 %.

### 2.3.1.3 Polimerizacija

Med polimerizacijo se odvijajo številne kemijske reakcije, ki povzročajo nastanek spojini z veliko molekulsko maso in polarnostjo. Z naraščanjem količine polimerizacijskih produktov v olju za cvrtje narašča tudi viskoznost (Warner, 2002).

Med cvrtjem nastajata v olju dve vrsti polimerov (Gupta, 2005):

- oksidirani polimeri:  
Oksidirani polimeri se tvorijo med avtooksidacijo, ko prosti radikali v fazi terminacije reagirajo med seboj. Ko se molekula triacilglicerola med avtooksidacijo razgradi, delne triacilglicerolne molekule niso odstranjene v procesu deodorizacije in lahko reagirajo druga z drugo in tvorijo dimere, trimere ali polimere. Oksidirani polimeri ne prispevajo vedno k priokus sveže ocvrtih živil. Lahko pa se priokus v pakiranem živilu opazi po nekaj dneh po proizvodnji in živilo lahko razvije oksidiran oz. žarek okus še pred koncem roka trajanja. Do tega prihaja zaradi naslednjih razlogov:
  - ✓ oksidirani polimeri so močni prosti radikali in se lahko razgradijo med shranjevanjem ocvrtega živila;
  - ✓ nekatere oksidirane polimerne molekule lahko vsebujejo večje količine kisika kot triacilglicerolna molekula. Ko se oksidirani polimeri razgrajujejo, proizvajajo proste radikale in sprostijo nekaj kisika;
  - ✓ prosti radikali in sproščen kisik lahko nadaljujejo proces avtooksidacije med shranjevanjem. Ta pojav se opazi v pakiranih ocvrtih živilih, tudi ko je embalaža preprihana z dušikom. Ta reakcija lahko napreduje tudi, če je ocvrt izdelek hranjen v zamrzovalniku. Nekateri raziskovalci imenujejo to reakcijo »skrita oksidacija«.
- toplotni polimeri:  
Polimerizacija olja se pojavi pod vplivom visoke temperature z ali brez prisotnosti kisika. Visoka temperatura lahko razcepi molekulo triacilglicerola ali maščobno kislino. Te razcepljene spojine lahko reagirajo druga z drugo in tvorijo velike molekule. Te polimere imenujemo toplotni polimeri. V procesu cvrtja lahko prevelika vročina cvrtnika in predolgo cvrtje povzročita nastanek večje količine

toplotnih polimerov. Toplotne polimere lahko zaznajo šolani ocenjevalci v svežem produktu, ker doprineejo k grenkemu priokusu ocvrtega živila.

### 2.3.2 Fizikalne spremembe

Fizikalne spremembe olja za cvrtje (Warner, 2002; Vidmar in Oštrič-Matijašević, 1992):

- sprememba okusa in vonja olja;
- povečana viskoznost – na spremembo viskoznosti vplivata predvsem sestava olja in temperatura cvrtja. Viskoznost se spreminja s vsebnostjo polimerov. Pri povečani viskoznosti živilo vpija večje količine olja, kar zmanjša kakovost končnega proizvoda, tudi izgube olja so večje. Metode za določanje viskoznosti so hitre in enostavne, ter se pogosto uporabljajo v praksi;
- sprememba barve – barva olja se med cvrtjem spreminja. Sprememba barve je posledica spremenjene sestave olja (tvorba oksidnih produktov) in topnosti posameznih sestavin hrane, ki se cvre. Spremembe so lahko opazne, določamo jih s kolorimetričnimi in spektrofotometričnimi metodami;
- penjenje – pri segrevanju olja na višje temperature nastaja pena. Določanje višine pene se uporablja kot kriterij za ocenjevanje kakovosti olja. Količina nastale pene je v korelaciji z drugimi vrstami kvarjenja olja;
- zmanjšana točka dimljenja – točka dimljenja je tesno povezana s točko vžiga. Vedno jo določamo olju, ki se uporablja za cvrtje. Jedilna olja imajo ponavadi točko dimljenja med 235 °C in 245 °C pri vsebnosti prostih maščobnih kislin približno 0,1 %. Z naraščanjem vrednosti prostih maščobnih kislin točka dimljenja pada.

### 2.3.3 Dejavniki, ki vplivajo na razgradnjo olj med procesom cvrtja

Razumevanje mehanizma toplotne razgradnje olja za cvrtje je težko, ker na proces vpliva mnogo spremenljivk, kot so nenasičenost maščobnih kislin, temperatura olja, absorpcija kisika, prisotnost kovin v živilu in olju ter vrsta živila, ki se cvre (Warner, 2002).

Spisek dejavnikov je podan v preglednici 5. Razgradnjo olja za cvrtje je mogoče nadzorovati ali celo preprečiti s kontrolo teh dejavnikov (Warner, 2002).

Za preprečevanje razgradnje olja je potrebno uporabiti sveže olje dobre kakovosti, z majhno vsebnostjo polinenasičenih maščobnih kislin in majhno vsebnostjo kovin. Kakovost olja pomagajo ohranjati tudi antioksidanti in antipenilci (Warner, 2002).

Na končno sestavo olja za cvrtje vpliva vrsta ocvrtega živila, ker se maščobne kisline sprostijo iz maščobo vsebujočih živil in njihova vsebnost v olju narašča. Panirana živila povzročajo hitrejšo razgradnjo olja kot nepanirana živila. Pa tudi živila, kot je npr. krompir, povzročajo razgradnjo olj zaradi povečane aeracije, ko se živilo doda olju. Delčki živil, ki se nabirajo v olju, prav tako povzročajo hitro razgradnjo olj, pri tem pa pomaga filtracija olj z adsorbenti. Obseg razgradnih reakcij se lahko omeji s previdnim nadzorom pogojev cvrtja, kot sta temperatura in čas, izpostavljenostjo olja kisiku, kontinuiranim ali šaržnim cvrtjem, filtracijo olja in zamenjavo olja (Warner, 2002).

**Preglednica 5** Dejavniki, ki vplivajo na razgradnjo olja med cvrtjem (Warner, 2002)  
**Table 5** Factors affecting oil degradation during frying (Warner, 2002)

olja/živilo/aditivi	dejavnik
nenasičenost maščobnih kislin	temperatura olja
vrsta olja	čas cvrtja
vrsta živila	aeracija/absorpcija kisika
kovine v olju/živilu	oprema za cvrtje
začetna kakovost olja	kontinuirno ali šaržno cvrtje
razgradni produkti olja	stopnja cvrtja (frying rate)
antioksidanti	prenos toplote
protipenilci	stopnja fluktuacije; dodatek svežega olja
	filtracija olja/čiščenje cvrtnika

Med kontinuiranim in šaržnim načinom cvrtja obstaja razlika. Znanstveniki so ugotovili, da pri šaržnem cvrtju v krajšem času nastane enak delež polarnih spojin, kot pri daljšem kontinuiranem cvrtju (bombažno olje doseže pri šaržnem cvrtju po 62 urah enak delež polarnih spojin kot pri kontinuiranem cvrtju po 166 urah). Predvidevajo, da se to lahko zgodi zaradi povišanih količin maščobno acilnih peroksidov, ki se razgradijo med ponavljajočim segrevanjem in ohlajanjem ter nadalje kvarijo olje. Kombinacija dejavnikov v preglednici 5 določa stopnjo, pri kateri se bodo odvijale posamezne reakcije. Na primer, pri eni operaciji je lahko stopnja hidrolize dvakrat večja od oksidacije, medtem ko se pri kakšni drugi operaciji z drugačnimi pogoji lahko zgodi obratno (Warner, 2002).

### 2.3.4 Razgradni produkti olj za cvrtje

Med cvrtjem se olja razgrajujejo in nastajajo hlapni in nehlapni razgradni produkti (preglednica 6).

**Preglednica 6** Hlapni in nehlapni razgradni produkti olja za cvrtje (Warner, 2002)  
**Table 6** Volatile and non-volatile oil degradation products (Warner, 2002)

hlapni produkti	nehlapni produkti
ogljikovodiki	monoacilgliceroli
ketoni	diacilgliceroli
aldehidi	oksidirani triacilgliceroli
alkoholi	dimeri triacilglicerolov
estri	trimeri triacilglicerolov
laktoni	polimeri triacilglicerolov
	proste maščobne kisline

Živila ocvrta v razgrajenem olju lahko vsebujejo velike količine razgradnih produktov, ki lahko povzročajo potencialne nezaželene učinke za varnost, okus, barvo in teksturo ocvrtega živila (Warner, 2002).

#### 2.3.4.1 Hlapni razgradni produkti

Sveža olja za cvrtje ne vsebujejo večjih količin hlapnih spojin (Pokorný, 1989).

Med cvrtjem nastaja velika mešanica hlapnih spojin s hitro razgradnjo hidroperoksidov in polinenasičenih aldehydov (Frankel, 2005). Tudi proste maščobne kisline, ki nastanejo med hidrolizo, delno izhlapijo med cvrtjem (Pokorný, 1989).

Hlapne razgradne produkte najdemo v majhnih količinah, ker se jih velika večina odstrani iz olja s parno destilacijo. Preostale hlapne spojine so bolj zaskrbljujoče, ker se delno absorbirajo v ocvrta živila in prispevajo k njihovemu okusu in vonju prostora v katerem se cvre (Frankel, 2005). Nekateri hlapni, kot so aldehidi in nižje maščobne kisline, dražljivo vplivajo na kuharje, še posebej njihove oči, razen, če se odstranijo z napami. Pri normalnih pogojih cvrtja, se 5-15 % olja pretvori v hlapne spojine, vendar jih manj kot 1 % ostane v olju, ostale izhlapijo z dimom (Pokorný, 1989). Hlapne spojine, ki nastanejo med toplotno oksidacijo vključujejo aldehide, ketone, alkohole, kisline, estre, ogljikovodike, laktone, furane in aromatične spojine (Frankel, 2005).

Mnogo hlapnih razgradnih produktov izhlapi med cvrtjem, zato je težko dobiti natančno predstavo o razgradnji olja z instrumentalnimi in kemijskimi analizami teh produktov. Metode, s katerimi merimo hlapne produkte direktno ali indirektno, vključujejo peroksidno število, plinsko kromatografijo in senzorično analizo (Warner, 2002).

Točka dimljenja svežih olj je višja od 200 °C, vendar se zniža z naraščajočo vsebnostjo prostih maščobnih kislin, monoacilglicerolov, aldehydov in drugih oksidacijskih produktov. V odpadnih oljih za cvrtje se točka dimljenja giblje med 145 in 165 °C (Pokorný, 1989).

#### 2.3.4.2 Nehlapni razgradni produkti

Na okus olja za cvrtje in ocvrtih živil vplivajo tudi nehlapni produkti. Vplivajo na občutek v ustih in okus (Pokorný, 1989).

Nehlapni razgradni produkti v rabljenih oljih vključujejo polimerne triacilglicerole, oksidirane derivate triacilglicerolov, ciklične spojine in druge razgradne produkte. Polimerni triacilgliceroli nastanejo s kondenzacijo dveh ali več triacilglicerolnih molekul in nastajajo polarne in nepolarne visokomolekularne spojine. Nepolimeriziran del običajno vsebuje nespremenjene triacilglicerole v kombinaciji z njihovimi oksidiranimi derivati (Pokorný, 1989).

Monomerne spojine:

Toplotno oksidacijo nenasičenih maščob spremlja izomerizacija dvojnih vezi, ki vodi k nastanku produktov, ki vsebujejo *trans* dvojne vezi in konjugirane dvojne vezi.



Nehlapni razgradni produkti nastajajo s toplotno oksidacijo, hidrolizo in ciklizacijo. Veliko število hidroksi, alkoksi-nadomestkov, epoksi in keto spojin nastane z oksidacijo, proste maščobne kisline in mono- in diacilgliceroli s hidrolizo, ter ciklični monomeri s ciklizacijo polinenasičenih maščobnih kislin v segrevanih oljih. Proste maščobne kisline so še posebej škodljive za stabilnost olj in ocvrtih živil, ker hitro oksidirajo. Katalizirajo nadaljnjo oksidacijo polinenasičenih maščob z raztapljanjem in aktivacijo katalitičnih kovinskih soli in z njihovo površinsko aktivnostjo lahko povečajo kontakt z oksidiranimi spojinami živil in pospešijo interakcije med maščobami in proteini. Ciklični monomeri zaslužijo posebno pozornost, ker se smatrajo kot prehransko nevarni, če so prisotni v prevelikih količinah (Frankel, 2005).

**Polimerne spojine:**

Prevladujoča skupina nehlapnih spojin, ki nastajajo med cvrtjem nenasičenih maščob, vključuje dimere in oligomere. Te spojine z visoko molekulsko maso se večinoma tvorijo v terminacijskih fazah oksidacije prostih radikalov (Frankel, 2005).

**Interakcijske spojine:**

Kompleksne mešanice nastajajo z neencimskimi porjavitvenimi reakcijami med toplotno oksidiranimi lipidi in amini, aminokislinami in proteini. Interakcije med aldehidi, epoksidi, hidroksi ketoni in dikarbonili s proteini povzročajo porjavenje, ki je povezano z izgubami aminokislin lizina, histidina in metionina (Frankel, 2005).

## 2.4 SPREMEMBE KROMPIRJA MED CVRTJEM

Ocvrt krompir je eden najpopularnejših ocvrtih izdelkov na svetu in privlači kupce, še posebej mlajšo generacijo, zaradi karakterističnega okusa in teksture. Najprej se krompir delno ocvre v industrijskem obratu, nato se pa pred uživanjem ponovno ocvre (Keijbets, 2001). Svež krompir vsebuje zelo majhno količino maščob (0,8 do 1,3 mg/g sveže mase). Glavne maščobne kisline v krompirju so palmitinska (16-19 %), linolna (52-60 %) in linolenska kislina (13-24 %) (Galliard, 1973). Glede na to, da svež krompir vsebuje zelo malo maščob, je vsebnost maščob v ocvrtem krompirju odvisna od olja za cvrtje. Predcvrtje v industrijskem obratu pomeni, da je krompirjev izdelek delno kuhan, primeren za enostavno in hitro pripravo pred uživanjem (Keijbets, 2001).

Pomembne značilnosti surovega krompirja (Keijbets, 2001):

- sorta: primerna za cvrtje, odporna proti škodljivcem, nastanku črnih pik in poškodbam;
- oblika: veliki, podolgovati gomolji;
- vsebnost suhe snovi: 20-24 %;
- nizka vsebnost reducirajočih sladkorjev;
- dober okus in tekstura.

Za cvrtje ocvrtega krompirčka se najpogosteje uporabljajo palmino, sojino, sončnično in repično olje. Predpriprava obsega rezanje krompirja v rezine željenih dimenzij in oblike, sortiranje, blanširanje in sušenje. Predpriprava v kombinaciji s cvrtjem je ključnega pomena za razvoj zelene barve, teksture in okusa ocvrtega krompirčka. Po cvrtju

krompirjeve rezine hitro ohladijo, zamrznejo in pakirajo, da se obdrži kakovost med nadaljnjim shranjevanjem in distribucijo (Keijbets, 2001).

Cvrtje je ključni proces pri proizvodnji ocvrtega krompirčka. Predcvrtje v kombinaciji s končnim cvrtjem zagotavlja končno kakovost ocvrtega krompirčka (Keijbets, 2001).

Glavni procesi, ki potekajo v cvrtem živilu med cvrtjem, so prikazani v preglednici 7.

**Preglednica 7** Glavni procesi, ki potekajo v cvrtem živilu med cvrtjem (Pokorný in Réblová, 1999)

**Table 7** Main processes that take place in fried food during frying (Pokorný and Réblová, 1999)

tip reakcije	primeri reakcij
reakcije zaradi segrevanja na površini cvrtega živila	dehidracija in piroliza polimerizacija in kondenzacija hidroliza
izmenjava med oljem in cvrtim živilom	prenos vode v olje za cvrtje prenos maščob v obe smeri nastanek spojin okusa z interakcijami med oksidacijskimi produkti olja za cvrtje z aldehidi in heterocikličnimi spojinami ocvrtega živila

Med cvrtjem zaradi visoke temperature olja voda zelo hitro izpareva iz površine krompirčka (slika 4). Voda prehaja iz notranjosti krompirčka proti zunanosti. Na zunanosti nastaja suh, porozni sloj – skorja. Zaradi poroznosti in suhosti tega 0,3-0,8 mm debelega sloja, potrošnik zazna to skorjo kot hrustljivo. Istočasno se notranjost krompirjeve rezine kuha. Na koncu procesa je ocvrt krompirček dobro kuhan v sredini in ima hrustljivo skorjo (Keijbets, 2001).

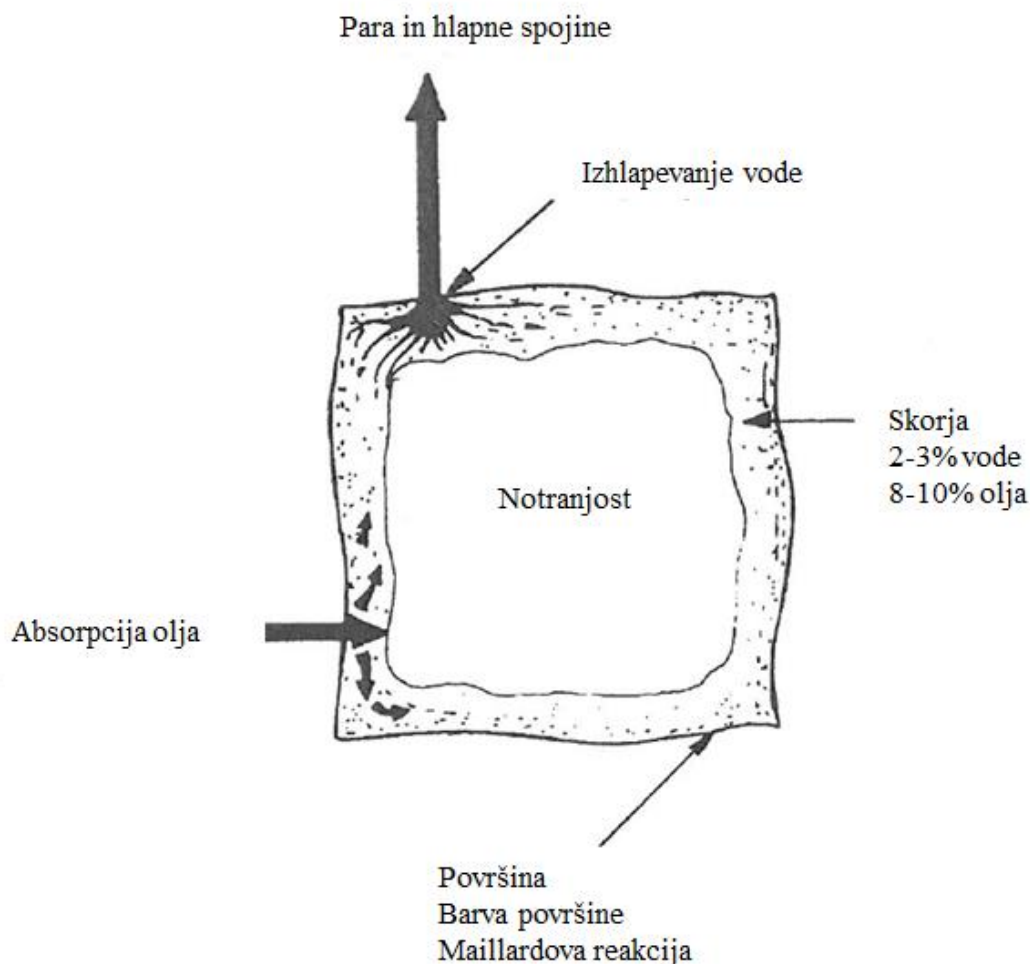
Oksidacijski produkti so bolj polarni kot originalni triacilgliceroli olja za cvrtje. Cvrto živilo je tudi relativno polarno. Zato se polarni oksidacijski produkti absorbirajo na površini in v notranjih plasteh živila bolj kot nespremenjeno olje. Tako se oksidirana frakcija kontinuirno odstranjuje iz olja za cvrtje, kar preprečuje njihovo akumulacijo v olju. Vendar pa oksidacijski produkti poslabšajo prehransko vrednost ocvrtih živil, zato mora biti oksidacija čimbolj upočasnjena (Pokorný in Réblová, 1999).

Običajna vsebnost olja v ocvrtem krompirčku je 15 %. Izsledki raziskav so odkrili, da se večina olja vpije v živilo, ko se le-to odstrani iz olja. Absorpcija olja je fenomen povezan s površino krompirčka in nastane zaradi tekmovanja med odtekanjem olja vzdolž površine in sesanjem olja v porozno skorjo, ko se ocvrt krompirček odstrani iz cvrtnika in se začne ohlajati (Pedreschi in Zuñiga, 2009).

Glavni dejavniki, ki vplivajo na absorpcijo olja v ocvrtem živilu so (Pedreschi in Zuñiga, 2009):

- stopnja razgradnje olja za cvrtje;
- temperatura, tlak in čas cvrtja;

- oblika živila;
- kemijska sestava surovega živila;
- predobdelava;
- hrapavost površine;
- poroznost živila.



**Slika 4**                    **Struktura prereza ocvrtega krompirčka (nastanek skorje) (Orthofer in List, 2007)**

**Figure 4**                    **Structure of cross section of french-fried potato (formation of crust) (Orthofer and List, 2007)**

Izmenjava maščob v zamrznjenih predocvrtih izdelkih je specifična, ker imajo maščobne sestavine dve specifični karakteristiki (Dobarganes in sod., 2000):

- predocvrti izdelki vsebujejo določeno količino absorbirane rabljene maščobe ali olja neznane sestave in kakovost je odvisna od spremenljivk postopka predcvrtja;
- posledica prejšnjega procesa cvrtja je olje absorbirano v zunanje plasti živila in zato so te maščobe v stiku z oljem za cvrtje med drugo operacijo cvrtja.

Pod normalnimi pogoji cvrtja je senzorična vrednost ocvrtih živil veliko bolj odvisna od oksidacijskih reakcij, kot pa od hidrolitskih in pirolitskih reakcij v olju za cvrtje. V bistvu se produkti, ki se tvorijo med oksidacijo pod pogoji cvrtja ne razlikujejo kvalitativno od produktov žarkosti med shranjevanjem olja, zelo se pa razlikujejo v koncentraciji (Pokorný, 1989):

- olja za cvrtje vsebujejo večje količine nizkohlapnih produktov in manjše količine visokohlapnih produktov kot žarka olja;
- produkti žarkosti vsebujejo več hidroperoksidov in diperoksidov, ki se hitro razgradijo med cvrtjem;
- cvrtje poteka pri veliko manjših vsebnostih kisika, raztopljenega v olju, kar vpliva na deleže sekundarnih produktov;
- pirolitski produkti so bolj pogosti v oljih za cvrtje in vključujejo tudi pirolitske produkte hidroperoksidov;
- relativna stopnja interakcij med hlapnimi spojinami olj za cvrtje in proteini je v veliki meri odvisna od reakcijskih temperatur.

Med cvrtjem živilo absorbira olje in sprosti nekaj svojih lipidov v olje. Sestava in stabilnost maščob se tako lahko spreminja med cvrtjem. Reakcije olja s proteini in ogljikovimi hidrati živila prispevajo k zelenim in neželenim okusom. Nastanek zelenih okusov, vonjev in teksture je nujno potreben za to, da ocvrta živila pridobijo unikatne senzorične značilnosti (Frankel, 2005).

Najpomembnejše reakcije z vidika okusa so pirolitske in kondenzacijske reakcije, v katerih se tvorijo prekursorji okusa. Nekatero spojino okusa se absorbirajo iz olja za cvrtje, druge nastajajo z reakcijami blizu površine v notranjosti cvrtega živila, veliko spojin okusa pa nastaja na vmesni fazi med cvrtim živilom in oljem za cvrtje. Ocvrt okus je zelo kompleksen, saj je rezultat več kot sto različnih snovi (Pokorný in Réblová, 1999).

Čeprav glavne reakcije, ki prispevajo k zlati barvi ocvrtih izdelkov, potekajo med proteini in ogljikovimi hidrati (Maillardova reakcija), igrajo tudi maščobe vlogo v neencimskem porjavenju. Reakcije produktov oksidiranih maščob z amini, aminokislinami in proteini so še posebej povezane s porjavenjem v številnih živilih med predelavo in shranjevanjem (Dobarganes in sod., 2000).

#### 2.4.1.1 Nastanek akrilamida

Aprila leta 2002 je švedska nacionalna živilska uprava objavila ugotovitve povečanih vsebnosti akrilamida v ocvrtih in pečenih izdelkih. Že pred tem so akrilamid povezovali s številnimi neželenimi učinki pri ljudeh in živalih in ga leta 1994 klasificirali kot »verjetno kancerogenega za ljudi« (Agencija za raziskave raka). Od takrat se izvaja ogromno raziskav identifikacije mehanizmov, s katerimi bi zmanjšali vsebnost akrilamida v ocvrtih živilih, še posebej v krompirjevih izdelkih (Taeymans in sod., 2004).

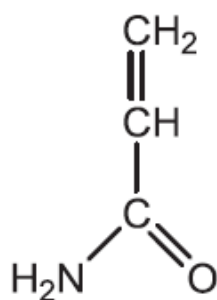
Večje vsebnosti akrilamida so odkrili v ocvrtem krompirčku in tudi v hrustljavih kruhkih, kosmičih, pekarskih izdelkih in kavi (Boskou, 2011).

Akrilamid (2-propenamid, CAS No. 79-06-1) je trdna snov brez barve in vonja in je topen v vodi, etanolu in acetonu (Smith in sod., 1997).

Akrilamid je znana kemikalija in se že dlje časa uporablja v različnih vejah industrije.

Obstajajo trije razlogi za zaskrbljenost glede vsebnosti akrilamida v živilih (Friedman, 2003):

- pogosto uživanje živil, ki vsebujejo akrilamid;
- akrilamid je potencialen kancerogen;
- količina akrilamida v živilih je večja kot količina drugih živilskih kancerogenov.



**Slika 5**                      **Kemijska struktura akrilamida (Claus in sod., 2008)**

**Figure 5**                     **Chemical structure of acrylamide (Claus et al., 2008)**

Za nastanek akrilamida v segrevanih živilih morajo biti izpolnjeni štirje predpogoji (Weisshaar, 2004):

- prisotnost prostega asparagina,
- prisotnost prostih reducirajočih sladkorjev (pri temperaturah večjih od 150 °C se sladkor razgradi, nastanejo intermediati, ki pospešijo nastanek akrilamida),
- nizka aktivnost vode (na površini živil),
- temperatura živila nad 100 °C.

Mnogo raziskovalcev se je osredotočilo na raziskavo mehanizmov nastanka akrilamida.

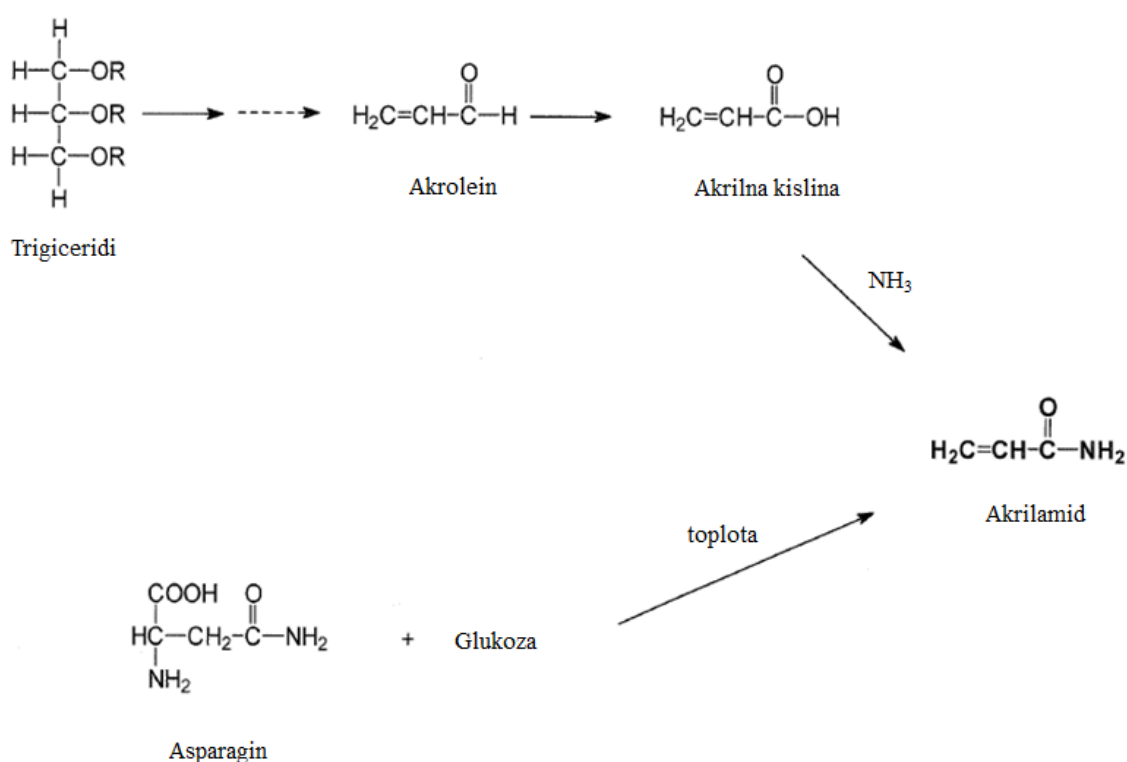
Kot najbolj pogost mehanizem nastanka akrilamida se navaja Maillardova reakcija, ki vključuje kondenzacijo aminokislina asparagin in sladkorjev (Taeymans in sod., 2004).

Raziskana je bila tudi možna vloga maščob pri nastanku akrilamida. Rezultati raziskav kažejo, da prispevajo tako neoksidirani kot oksidirani lipidi k pretvorbi asparagina v akrilamid, vendar morajo biti neoksidirani lipidi najprej oksidirani (Zamora in Hidalgo, 2008).

V večini živil so reducirajoči sladkorji glavne karbonilne spojine, ki reagirajo s prostim asparaginom, ker je njihova količina običajno zelo visoka. Vendar pa karbonilne spojine prav tako lahko izhajajo iz oksidacije lipidov (Frankel, 2005).

Segrevanje maščob lahko vodi do nastanka akroleina (Gertz in Klostermann, 2002; Taeymans in sod., 2004; Mestdagh in sod., 2007). Triacilgliceroli delno hidrolizirajo med cvrtjem, sledi dehidracija glicerola v akrolein. Akrolein lahko oksidira v akrilno kislino, ki reagira z amoniakom, da nastane akrilamid. Akrolein lahko nastane tudi med pirolizo triacilglicerolov, brez glicerola kot vmesnega produkta. Monoacilgliceroli se lahko razgradijo nad 150 °C na akrolein in proste maščobne kisline. Posledično bi lahko hidrolitski produkti razgradnje olja delovali kot prekuzornji nastanka akrilamida (Mestdagh in sod., 2007).

Možne poti nastanka akrilamida so prikazane na sliki 6.



Slika 6 Možne poti nastanka akrilamida (Becalski in sod., 2003)

Figure 6 Possible routes of acrylamide formation (Becalski et al., 2003)

Na podoben način bi lahko bili tudi oksidacijski produkti olj pomemben dejavnik, ki vpliva na nastanek akrilamida, ker vplivajo na površinsko napetost med oljem in živilom. Polarne spojine, ki se tvorijo med oksidacijo, lahko vežejo vodo v olju za cvrtje daljši čas, kar vodi k naraščanju toplotnega prenosa in toplotne konduktivnosti. Tako bi bolj oksidirana olja povzročila povečano koncentracijo akrilamida v živilih. Vsi razgradni procesi lahko vplivajo na nastanek akrilamida med cvrtjem, ker po eni strani spremenijo lastnosti toplotnega prenosa v olju, po drugi strani pa lahko povzročijo nastanek prekuzorjev akrilamida (Mestdagh in sod., 2007).

Predlaganih je še mnogo mehanizmov nastanka akrilamida, vendar je najverjetneje, da se med posameznim tehnološkim postopkom prepleta več različnih mehanizmov (Taeymans in sod., 2004).

Zveza industrije hrane in pijač (CIAA) je povzela rezultate raziskav glede zmanjšanja količine akrilamida in izdala dokument »CIAA Toolbox«, v katerem so naštetih parametri, ki vplivajo na končno vsebnost akrilamida. Posodobljena priporočila vključujejo agronomske dejavnike (sladkorje in asparagin), dejavnike receptur (fermentacija, redčenje, velikost delcev, pH, druge manjše sestavine, kot so aminokisliline in kalcijeve soli), procesne pogoje (asparaginaza, vročina, vlaga, predobdelava in barva končnega produkta) in postopke končne obdelave (potrošnik) (Taeymans in sod., 2004).

Obstoječe strategije zmanjšanja količine akrilamida v živilih vključujejo tri osnovne vidike (Taeymans in sod., 2004):

- modifikacijo surovin (npr. ustrezna sorta krompirja, pogoji hranjenja, kontrola vsebnosti reducirajočih sladkorjev in asparagina),
- optimizacijo procesnih pogojev (npr. temperatura in čas cvrtja) in
- dodatek aditivov.

Tip olja za cvrtje (repično, sojino, sončnično) ne vpliva na vsebnost akrilamida, z izjemo cvrtja v oljčnem olju, kjer vsebnost akrilamida med cvrtjem zelo naraste (Pedreschi in Zuñiga, 2009).

S ciljem zmanjšanja vsebnosti akrilamida je bilo raziskano delovanje mnogih aditivov, vključno z določenimi organskimi kislinami (npr. citronska kislina), aminokislinami (npr. glicin), mono- in divalentnimi kationi (npr.  $\text{Na}^+$  in  $\text{Ca}^{2+}$ ) (Taeymans in sod., 2004) ter antioksidanti (Bethke in Bussan, 2013). Prodajajo se tudi komercialni rožmarinovi pripravki, ki zmanjšajo vsebnost akrilamida v ocvrtih živilih (Boskou, 2011).

Maillardova reakcija je v bistvu kompleksen, a zaželen proces, ki povzroči nastanek mnogih pomembnih spojin okusa in arome, zato ukrepi zmanjšanja nastanka akrilamida ne bi smeli negativno vplivati na senzorične lastnosti toplotno obdelanih živil (Taeymans in sod., 2004).

Evropska unija je izdala »Priporočilo komisije z dne 10.01.2011 o raziskavi vsebnosti akrilamida v živilih«, kjer navaja okvirne vsebnosti akrilamida v določenih živilih. V primeru preseganja okvirne vsebnosti, ki za ocvrt krompirček znaša 600  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , priporočajo dodatne raziskave, s katerimi se ugotovi vzrok povečanih vsebnosti akrilamida (Evropska komisija, 2011).

## 2.5 VPLIV RAZGRADNIH PRODUKTOV OLJ ZA CVRTJE IN OCVRTIH ŽIVIL NA ZDRAVJE

Učinek oksidiranih maščob je dobro raziskan. Poskusi krmljenja podgan, miši in drugih eksperimentalnih živali so dokazali, da zaužitje pregretyh oksidiranih maščob, v

primerjavi s svežimi maščobami, lahko povzroči niz neželenih bioloških učinkov, kot so oksidativni stres in spremembe presnove maščob, ki jih povzročajo spremembe v izražanju genov. Ti škodljivi razgradni produkti pa niso prisotni oz. so prisotni v minimalnih količinah, če se uporablja dobra proizvodna praksa pri cvrtju in je olje zaščiteno z antioksidanti. Prehranski in toksikološki vplivi so bili zaznani samo v zavrženih oljih za cvrtje ali preveč cvrtih oljih. Zmerno uživanje cvrte hrane pripravljene po normalnimi pogoji je varno. Vsekakor je znanje o stabilnosti olj za cvrtje in vlogi antioksidantov zelo pomembno (Boskou, 2011).

Nekateri hlapni oksidacijski produkti so mutageni, če se vdihujejo med cvrtjem. Na Kitajskem in Tajskem so odkrili, da je rak na pljučih pri ženskah povezan s hlapi sproščenimi med cvrtjem rib. Raziskave so pokazale, da frakcije polarnih spojin vsebujejo malonaldehid, ki je dokazano mutagen. Malonaldehid povzroča raka kože pri podganah. Podgane, ki so jih hranili z malonaldehidom so zaostajale v rasti, imele so neredno prebavo, povečana jetra in ledvice, bile so anemične ter imele manjšo vsebnost vitamina E v serumu in jetrih. V ocvrto živilo se absorbira velika količina olja (do 40 %), zato lahko cvrtje v olju vpliva na povečano vsebnost nevarnih spojin. Nasprotno so pa druge raziskave pokazale nizko mutagenost olj, izpostavljenim pogojem cvrtja (Saguy in Dana, 2003).

Zgodnje raziskave, kjer so hranili živali z razgradnimi olji (včasih so vsebovala tudi več kot 50 % polarnih spojin), so pokazale zmanjšano rast in druge resne posledice (draženje prebavnega trakta, driska, visoka smrtnost). Ko so pa živali hranili z maščobami z normalnimi vrednostmi polarnih spojin (10-20 %), pa niso zaznali nobenih negativnih učinkov, tudi pri povišanih koncentracijah. Prisotnost oksidacijskih produktov sterolov v ocvrtih živilih povzroča mutagene, citotoksične in kancerogene učinke, inhibira biosintezo holesterola in povzroča poškodbe arterij (Frankel, 2005).

Izpostavljenost akrilamidu povzroča poškodbe na živčnem sistemu pri ljudeh in živalih. Akrilamid se smatra tudi kot reproduktivni toksin z mutagenimi in kancerogenimi lastnostmi v *in vitro* in *in vivo* sistemih (Taeymans in sod., 2004).

Raziskave so pokazale pozitivno korelacijo med prehranskim akrilamidom in tveganjem za razvoj različnih vrst raka. Ugotovili so povečano tveganje za razvoj raka na materničnem vratu in jajčnikih, še posebej med nekadilci. Za 59 % se poveča tudi tveganje za razvoj raka na ledvicah (Pedreschi in sod., 2009).

Med cvrtjem nastajajo tudi transmaščobne kisline, ki imajo številne negativne vplive na zdravje človeka. Negativno vplivajo na razmerje LDL/HDL holesterola, povečajo možnost za razvoj in nastanek bolezni srca in ožilja, povečujejo odpornost na inzulin ter so povezane s preeklampsijo pri nosečnicah. Vpliv transmaščobnih kislin na nastanek raka še ni znanstveno potrjen, čeprav številne raziskave kažejo močno povezavo med transmaščobnimi kislinami in rakom na dojki ter debelem črevesju. Prav tako še zmeraj potekajo raziskave o vplivu transmaščobnih kislin na pojav astme in alergij pri otrocih. Priporočen vnos transmaščobnih kislin je manj kot 1 % dnevnega energijskega vnosa (Hlastan Ribič, 2009).



## 2.6 NAČINI ZMANJŠANJA KOLIČINE NASTALIH RAZGRADNIH PRODUKTOV V OLJIH ZA CVRTJE IN ZAŠČITA OCVRTIH ŽIVIL

Za zaščito olj za cvrtje pred toplotno in oksidativno razgradnjo, se uporabljajo postopki filtracije med cvrtjem, menjava olja (redčenje ali popolna menjava), mešanja raznih olj, delna hidrogenacija in dodajanje različnih spojin (silikonskega olja, antioksidantov). S postopkom hidrogenacije nastajajo *trans* maščobe, ki niso zaželeni s prehranskega vidika. Zakonodaja predpisuje označevanje *trans* maščob na deklaracijah in to je vplivalo na reformuliranje olj za cvrtje, ker imajo potrošniki raje olja brez *trans* maščob. Stabilnost olja za cvrtje se lahko poveča preko genskega inženiringa z zmanjšanjem nenasičenosti ali z mešanjem polinenasičenih olj z manj nenasičenimi olji. Taka olja so zdrava alternativa hidrogeniranim oljem (Drummond, 2005; Boskou, 2011).

Antioksidanti so učinkoviti pri shranjevanju maščob, vendar je mnenje znanstvenikov glede njihove učinkovitosti in zaviranja razgradnje med cvrtjem deljeno, ker uporaba pravih pogojev cvrtja za raziskovanje učinkovitosti antioksidantov ni vedno enostavna metoda, pa tudi ekstrapolacija podatkov delovanja antioksidantov iz raznih poskusov v modelnih sistemih je lahko zavajajoča. Stopnja iniciacijskih reakcij avtooksidacije med cvrtjem je zelo visoka in antioksidanti, ki se dodajajo v zelo majhnih koncentracijah, se hitro razgradijo. Poleg tega potekajo tudi druge razgradne reakcije, ki se ne pojavljajo pri avtooksidaciji maščob, shranjenih pri sobni temperaturi. Določeni aditivi, kot so BHT in BHA, se izgubijo zaradi izhlapevanja in želeni vsebnost aditivov se ne obdrži med postopkom cvrtja (Drummond, 2005; Boskou, 2011).

Ker so antioksidanti lovilci prostih radikalov, se vsebnost dodanih antioksidantov v rafiniranih oljih zmanjša med shranjevanjem in distribucijo olja. Vendar pa so zaradi prisotnosti antioksidantov vsebnosti prostih radikalov majhne vse do uporabe olja v cvrtniku (Gupta, 2005).

## 2.7 ANTIOKSIDANTI

Oksidacija nenasičenih maščob je glavni razlog zmanjšanja kakovosti živil, procesu se je težko izogniti in vodi do skrajšanega roka trajanja, izgube okusa, zmanjšane funkcionalnosti in prehranske vrednosti živil (Reische in sod., 2002).

Čeprav je že dolgo znano, da oksidacijo maščob povzročajo katalizatorji, kot so svetloba, temperatura, encimi in kovine, je bil mehanizem oksidacijskih reakcij neznan do leta 1940, ko so znanstveniki ugotovili, da so v oksidacijske procese vključeni prosti radikali in reaktivni kisikovi produkti. Ugotovili so tudi, da antioksidanti ščitijo maščobe pred oksidacijo z lovljenjem prostih radikalov ali kisika (Shahidi in sod., 2005).

Do poslabšanja okusa pride zaradi razgradnje nenasičenih maščobnih kislin med avtooksidacijo, kar daje neprijeten okus in vonj. Zaradi visoke reaktivnosti ogljikovih dvojnih vezi v nenasičenih maščobnih kislinah so te spojine glavne tarče reakcij prostih radikalov. Avtooksidacija je oksidativna razgradnja nenasičenih maščobnih kislin preko avtokatalitičnih procesov, ki sestojijo iz verižnega mehanizma prostih radikalov.

Verižna reakcija vključuje iniciacijo, propagacijo in terminacijo. Reakcije propagacije so primarno odgovorne za avtokatalitično naravo avtooksidacije (Reische in sod., 2002).

V živilih, ki vsebujejo maščobo, antioksidanti zavirajo začetek oksidacije ali upočasnijo njen razvoj. Te substance se lahko pojavljajo kot naravne sestavine hrane, lahko pa se tudi namerno dodajo živilom ali pa nastajajo med predelavo. Njihova vloga ni izboljšanje kakovosti živil, ampak vzdrževanje kakovosti živil in podaljšanje roka trajanja živil (Reische in sod., 2002).

Antioksidanti so spojine, ki v majhni koncentraciji zavrejo ali preprečijo oksidacijo živila. Antioksidanti, ki spadajo pod to definicijo so lovilci prostih radikalov, inaktivatorji peroksidov, reaktivne kisikove spojine, kelatorji kovin in zaviralci sekundarnih oksidacijskih produktov, ki povzročajo žarkost (Shahidi in sod., 2005).

Za uporabo v živilih mora imeti antioksidant naslednje lastnosti (Wijeratne in Cuppet, 2006):

- mora biti varen,
- ne sme spremeniti barve, vonja, ali okusa olja,
- učinkovit v majhnih koncentracijah,
- preživeti procesne pogoje,
- stabilen v končnih izdelkih,
- topen v maščobah,
- imeti nizko ceno.

Spremembe antioksidantov med cvrtjem so prikazane v preglednici 8.

**Preglednica 8** Spremembe antioksidantov med cvrtjem (Pokorný, 2003)  
**Table 8** Changes of antioxidants during frying (Pokorný, 2003)

tip spremembe	prekurzorji	učinek na stabilnost
izparevanje	voda v cvrtem živilu	parna destilacija antioksidantov
oksidacija	polinenasičene kisline	uničenje fenolov
izmenjava olja za cvrte s cvrtim živilom	proteini, lipidi	nastanek kelatorskih lipoproteinov, zmanjšanje proteinske aktivnosti
reakcija s cvrtim živilom	originalni antioksidanti, produkti oksidacije maščob, antioksidanti, maščobe	zmanjšanje njihove prooksidativne aktivnosti zmanjšanje prooksidativne aktivnosti oksidacijskih produktov, zmanjšanje aktivnosti antioksidantov
polimerizacija	oksidacijski produkti olja, antioksidanti	zmanjšanje aktivnosti

Izbira antioksidanta je odvisna od skladnosti z živilom in zakonodajnih zahtev (Reische in sod., 2002). Antioksidanti ne podaljšajo le roka trajanja živil, ampak povečajo tudi

prehransko vrednost in omogočajo večjo izbiro maščob, ki se lahko uporabljajo v določenih živilih (Reische in sod., 2002).

Pri visokih temperaturah cvrtja se lahko antioksidanti delno izgubljajo z izparevanjem, še posebej v kombinaciji z vodnimi hlapci, ki so prisotni v vodi v živilu. Para pospešuje izgubo nepolarnih hlapnih spojin. Ena od karakteristik cvrtja je majhna vsebnost kisika v olju za cvrtje. Ves kisik, ki je od začetka raztopljen v olju, se porabi v procesu oksidacije v času, ki je potreben da se olje segreje do temperature cvrtja. Tokoferoli, prisotni v oljih za cvrtje, se razgradijo z direktno oksidacijo s kisikom in z reakcijo z oksidiranimi maščobnimi kislinami. Bolj kot je olje nenasičeno, hitrejša je razgradnja tokoferolov pri pogojih cvrtja (Pokorný, 2003).

Če je koncentracija antioksidantov visoka (to je bolj običajno v primeru naravnih antioksidantov), koncentracija antioksidativnih prostih radikalov naraste, tako da naraste možnost nastanka dimerov, kljub njihovi nizki reaktivnosti. Zaradi hlapnosti običajnih sintetičnih antioksidantov, so razvili manj hlapne sintetične antioksidante, ki pa še niso odobreni za uporabo v živilih. Izgube naravnih antioksidantov so majhne, ker je njihova hlapnost dosti manjša od sintetičnih antioksidantov. Naravni antioksidanti se tudi spreminjajo zaradi oksidacijskih reakcij, npr. karnozol se pretvori v militron ( $\alpha$  kinon) in dehidrorožmatikinon (Pokorný, 2003).

V preglednici 9 so naštetih dejavniki, ki vplivajo na aktivnost antioksidantov.

**Preglednica 9** Dejavniki, ki vplivajo na aktivnost antioksidantov (Pokorný, 2007)

**Table 9** Factors affecting antioxidant activity (Pokorný, 2007)

dejavniki, ki so odvisni od antioksidanta	dejavniki, ki so odvisni od živila	dejavniki, ki so odvisni od pogojev shranjevanja in segrevanja
kemijska zgradba	porazdelitev v maščobni in vodni fazi	temperatura shranjevanja
redoks potencial	prisotnost prooksidantov	čas shranjevanja
polarnost	prisotnost drugih antioksidantov	temperatura segrevanja
topnost	prisotnost sinergistov	čas segrevanja
koncentracija		dostopnost kisika

V preglednici 10 je podan spisek aditivov, ki se v skladu z zakonodajo lahko uporabljajo v oljih za cvrtje v Evropski Uniji (Uredba komisije..., 2011).

**Preglednica 10**                    **Aditivi, ki se lahko uporabljajo v oljih za cvrtje (Uredba komisije..., 2011)**  
**Table 10**                         **Additives allowed for use in frying oils (Commission regulation..., 2011)**

E-številka	ime	najvišja dovoljena vsebnost (mg/L ali mg/kg, kot je primerno)
E 300	askorbinska kislina	<i>quantum satis</i> *
E 304	estri askorbinske kisline z maščobnimi kislinami	<i>quantum satis</i> *
E 306	izvleček bogat s tokoferolom	<i>quantum satis</i> *
E 307	alfa tokoferol	<i>quantum satis</i> *
E 308	gama tokoferol	<i>quantum satis</i> *
E 309	delta tokoferol	<i>quantum satis</i> *
E 310-320	galati, TBHQ in BHA, posamezno ali v kombinaciji	200 (posamezno ali v kombinaciji)
E 321	BHT	100
E 322	lecitini	30 000
E 330	citronska kislina	<i>quantum satis</i> *
E 331	natrijevi citrati	<i>quantum satis</i> *
E 332	kalijeve citrati	<i>quantum satis</i> *
E 333	kalcijeve citrati	<i>quantum satis</i> *
E 392	izvlečki rožmarina	50 (kot vsota karnozola in karnozolne kisline)
E 471	mono- in digliceridi maščobnih kislin	10 000
E 472c	citratni estri mono- in digliceridov maščobnih kislin (CITREM)	<i>quantum satis</i> *
E 900	dimetilpolisiloksan	10

\* *quantum satis* – kolikor je potrebno

### 2.7.1 Mehanizmi delovanja

Glede na mehanizem delovanja antioksidante delimo na primarne in sekundarne. Nekateri antioksidanti imajo več mehanizmov delovanja in jih imenujemo multifunkcionalni antioksidanti (Reische in sod., 2002).

#### 2.7.1.1 Primarni antioksidanti

Primarni antioksidanti ali prekinjevalci verig so prejemniki prostih radikalov, ki upočasnijo ali preprečijo iniciacijski korak ali prekinejo korak propagacije. Primarni antioksidanti reagirajo z maščobo in peroksi radikali in jih pretvorijo v bolj stabilne, neradikalne produkte. Primarni antioksidanti donirajo vodikov atom maščobnemu radikal, nastanejo maščobni derivati in antioksidantni radikali ( $A^{\cdot}$ ), ki so bolj stabilni in manj sposobni nadaljnega pospeševanja avtooksidacije. Kot darovalci vodika primarni antioksidanti dajejo večjo prednost peroksi radikalom ( $ROO^{\cdot}$ ), kot pa lipidom. Zaradi tega peroksi ( $ROO^{\cdot}$ ) in oksidni ( $RO^{\cdot}$ ) radikale, ki nastanejo med propagacijo in

razvejanjem, vežejo primarni antioksidanti. Antioksidanti lahko reagirajo tudi direktno z maščobnimi radikali (Reische in sod., 2002).



Antioksidantni radikal, ki nastane z doniranjem vodika, ima zelo nizko reaktivnost z lipidi. Ta nizka reaktivnost zmanjša stopnjo propagacije, ker je reakcija antioksidantnega radikala s kisikom ali maščobo zelo počasna. Antioksidantni radikali so sposobni sodelovati v terminacijskih reakcijah s peroksi in drugimi antioksidantnimi radikali. Reakcija nastanka antioksidantnih dimerov (dimerizacija) je v maščobah in oljih pogosta in kaže, da fenolni antioksidantni radikali takoj opravijo reakcije terminacije. To učinkovito zavira avtokatalitične verižne reakcije prostih radikalov tako dolgo, dokler je antioksidant prisoten v svoji neradikalni obliki (Reische in sod., 2002).



Pred fazo iniciacije avtooksidacije poteka indukcijski čas, v katerem se antioksidanti porabljajo in nastajajo prosti radikali. Zato so primarni antioksidanti najbolj učinkoviti, če se dodajo med indukcijsko ali iniciacijsko fazo oksidacije, ko se ciklični propagacijski koraki še niso pojavili. Dodatek antioksidantov maščobam, ki že vsebujejo večjo količino peroksidov, se konča z izgubo antioksidantov. Primarni antioksidanti so mono- in polihidroksi fenoli z različnimi substitucijami na obroču. Najbolj pogosto uporabljeni primarni antioksidanti v živilih so sintetične spojine: butilhidroksianizol (BHA), butilhidroksitoluen (BHT), tert-butilhidrokinon (TBHQ), propil galat (PG). Tudi nekaj naravnih spojin živil prav tako deluje kot primarni antioksidanti in se dodajajo k živilom (Reische in sod., 2002).

#### 2.7.1.2 Sekundarni antioksidanti

Sekundarni antioksidanti (preventivni) delujejo preko številnih različnih mehanizmov. Ti antioksidanti zmanjšajo stopnjo oksidacije s številnimi različnimi mehanizmi, vendar pa ne pretvarjajo prostih radikalov v bolj stabilne produkte. Sekundarni antioksidanti lahko kelirajo (vežejo) prooksidativne kovine in jih deaktivirajo (onesposobijo), obnovijo vodik primarnim antioksidantom, razgradijo hidroperokside v neradikalne oblike, deaktivirajo singletni kisik, absorbirajo ultravijolično sevanje ali delujejo kot lovilci kisika. Ti antioksidanti se pogosto smatrajo kot sinergisti, ker spodbujajo antioksidativno aktivnost primarnih antioksidantov. Dobri primeri sinergistov so: citronska kislina, askorbinska kislina, askorbil palmitat, lecitin in vinska kislina (Reische in sod., 2002).

Kombiniranje antioksidantov lahko poveča njihovo učinkovitost. Dobro je, če mešanica vsebuje dva antioksidanta: enega, ki reagira s peroksi radikalom (in se porablja) in drugega, ki regenerira prvega (Brewer, 2011):



Nekatere kisle spojine, kot so askorbinska kislina in citronska kislina delujejo sinergistično v kombinaciji s polifenolnimi antioksidanti. Te kisle spojine vežejo kovine. Sinergisti oblikujejo antioksidativni sinergistični kompleks (A:S), tako da nobeden, antioksidativni radikal (A<sup>·</sup>) in sinergistični radikal (S<sup>·</sup>), ne katalizira oksidacijskih reakcij (Brewer, 2011).

Delitev sekundarnih antioksidantov (Reische in sod., 2002):

- kelatorji: dosti težkih kovin z dvema ali več valentnimi stanji (železo, baker, mangan, krom, nikelj, vanadij, cink, alumini) pospešuje oksidacijo, ker delujejo kot katalizatorji reakcij prostih radikalov. Med kelatorje spadajo citronska kislina, fosforna kislina in EDTA (etilendiamintetraocetna kislina), pa tudi jabolčna, vinska, oksalna in jantarna kislina;
- lovilci kisika in reducenti: kot lovilci kisika in reducenti delujejo askorbinska kislina, askorbil palmitat, eritorbinska kislina, natrijev eritorbat in sulfiti. Lovljenje kisika je uporabno pri izdelkih, ki imajo raztopljen kisik ali prisoten kisik na površini;
- lovilci singletnega kisika: singletni kisik je visoko energijska molekula, ki je odgovorna za fotooksidacijo nenasičenih maščob in posledično tvorbo hidroperoksidov. Lovilci singletnega kisika izčrpajo presežno energijo singletnega kisika in absorbirajo energijo v obliki toplote. Karotenoidi, vključno z beta karotonom, likopenom in luteinom, so aktivni lovilci singletnega kisika pri nizkem parcialnem tlaku kisika.

## 2.7.2 Sintetični in naravni antioksidanti

Stabilizacija olj pod pogoji cvrtja ni enostavna naloga, ker je stopnja iniciacije oksidacije zelo visoka. Vzporedno z oksidacijo potekajo še druge razgradne reakcije. Veliko antioksidantov je tudi delno hlapnih pri temperaturah cvrtja (Boskou, 2011).

Antioksidanti se lahko nahajajo že naravno v živilih (tokoferoli, askorbinska kislina), vendar se pogosto vsaj delno izgubijo med predelavo in skladiščenjem, zato se živilom antioksidanti dodajajo ali pa njihovi prekursorji sodelujejo pri nastanku antioksidantov med predelavo. Čeprav obstaja mnogo spojin, ki zavirajo oksidacijske procese, se jih lahko samo nekaj uporablja v živilih (Shahidi in Zhong, 2005).

Potrošniki so zaskrbljeni zaradi varnosti živil in zaradi potencialnih učinkov sintetičnih antioksidantov na zdravje. Kljub odlični učinkovitosti, nizki ceni in dobri stabilnosti sintetičnih antioksidantov v živilih, sum, da te spojine lahko povzročajo raka, vodi v njihovo omejeno uporabo. Trend uporabe naravnih živilskih aditivov v živilski industriji

je očiten že nekaj časa kot rezultat zahtev potrošnikov. Naravni antioksidanti, kot sta citronska in askorbinska kislina, se pogosto uporabljajo v živilski industriji. V zadnjem času so raziskave osredotočene na izolacijo in identifikacijo učinkovitih antioksidantov naravnega izvora (Reische in sod., 2002).

Naravni antioksidanti so mejniki za prihodnje raziskave v odkrivanju bolj zdravih in bolj stabilnih olj za cvrtje. Industrija potrebuje takšna olja, da zadovolji veliko skupino potrošnikov ocvrtih živil in tudi zaradi zmanjšanja količine zavrženih uporabljenih olj, kar ni le potrata denarja, ampak tudi resen okoljevarstveni problem (Boskou, 2011).

V preglednici 11 so podane prednosti in slabosti naravnih antioksidantov v primerjavi s sintetičnimi antioksidanti.

**Preglednica 11** Prednosti in slabosti naravnih antioksidantov v primerjavi s sintetičnimi antioksidanti (Pokorný, 2007)

**Table 11** Benefits and disadvantages of natural antioxidants as compared to synthetic antioxidants (Pokorný, 2007)

<b>prednosti</b>	<b>slabosti</b>
dobro sprejeti pri potrošnikih	variabilna sestava in učinkovitost
dolg spisek dostopnih antioksidantov	prisotnost drugih komponent
sprejeti pri uradnih zdravstvenih ustanovah	dejansko zdravstveno tveganje ni znano
lahko se zamenjajo s spojinami živil	manjša antioksidativna učinkovitost
nekateri se lahko označujejo kot arome	morajo se dodajati v večjih količinah
pozitivno vplivajo na senzorične lastnosti	negativno vplivajo na senzorične lastnosti
delujejo kot konzervansi	večina jih ni na voljo na trgu

#### 2.7.2.1 Sintetični antioksidanti

Sintetični antioksidanti se pogosto dodajajo oljem za zaviranje oksidativne razgradnje med shranjevanjem in cvrtjem (Warner, 2004). Najpogosteje uporabljeni sintetični antioksidanti so: BHA, BHT, PG in TBHQ. Uporabljajo se tudi kelatorji kovin, kot je citronska kislina, ki preprečujejo škodljive učinke kovin, kot sta železo in baker. Čeprav sta BHT in BHA učinkovita antioksidanta pri normalnih in povišanih temperaturah shranjevanja (Gordon in Kourimska, 1995; Yeo in sod., 2010), pa olju za cvrtje ne nudita zaščite med cvrtjem živil. Hitro izhlapi in ne ostaneta v olju dovolj dolgo, da bi zagotovila zaščito proti termooksidativni razgradnji (Peled in sod., 1975; Warner, 2004).

Za TBHQ poročajo, da ima boljšo termostabilnost in učinkovitost med cvrtjem (Gordon in Kourimska, 1995).

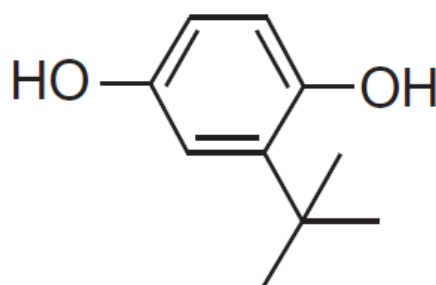
Sintetični antioksidanti so bili testirani glede varnosti in odobreni za uporabo v živilih v nizkih koncentracijah na podlagi obsežnih toksikoloških študij. Dovoljene koncentracije se razlikujejo od države do države (Shahidi in Zhong, 2005).

Sinteza novih sintetičnih antioksidantov je omejena z rastočimi stroški raziskav in razvoja, stroški, povezanimi z analizo varnosti in s časom, potrebnim za pridobitev uradnega odobritve za uporabo v živilih (Reische in sod., 2002).

#### 2.7.2.1.1 TBHQ

TBHQ je eden najpogosteje uporabljenih sintetičnih antioksidantov v industriji olj, delno tudi zaradi cene (Gupta, 2005).

TBHQ je prah bež barve ali belkast kristal, ki se pogosto uporablja pri cvrtju z visoko nenasičenimi rastlinskimi olji (Shahidi in Zhong, 2005).



**Slika 7**                      **Kemijska struktura TBHQ (Carocho in Ferreira, 2013)**

**Figure 7**                      **Chemical structure of TBHQ (Carocho and Ferreira, 2013)**

Kot difenolni antioksidant je TBHQ bolj učinkovit v rastlinskih oljih kot BHA in BHT. Odporen je na visoko temperaturo in je najučinkovitejši antioksidant pri preprečevanju oksidacije olj za cvrtje in je alternativa hidrogenaciji olja za povečanje oksidativne stabilnosti (Shahidi in Zhong, 2005).

TBHQ deluje sinergistično z drugimi antioksidanti, npr. s citronsko kislino. TBHQ v kombinaciji z BHA in BHT lahko poviša točko dimljenja olj in maščob. Varnost TBHQ-ja je vprašljiva. Glede na literaturne podatke, TBHQ povzroča netipično smrt celic in je dokazano citotoksičen proti človeškim monocitičnim levkemijskim celicam. Povzroča apoptozo in pospešuje poškodbe DNA. TBHQ je učinkovit inhibitor oksidacije holesterola. Poročali so pa tudi o antikancerogenem in antimutagenem delovanju TBHQ (Shahidi in Zhong, 2005).

#### 2.7.2.1.2 BHA in BHT

Fenolne in polifenolne spojine so najbolj aktivni antioksidanti. Strukturne različice fenolnih antioksidantov direktno vplivajo na njihove fizikalne lastnosti, ki vplivajo na razlike v njihovi antioksidativni aktivnosti (Shahidi in Zhong, 2005).

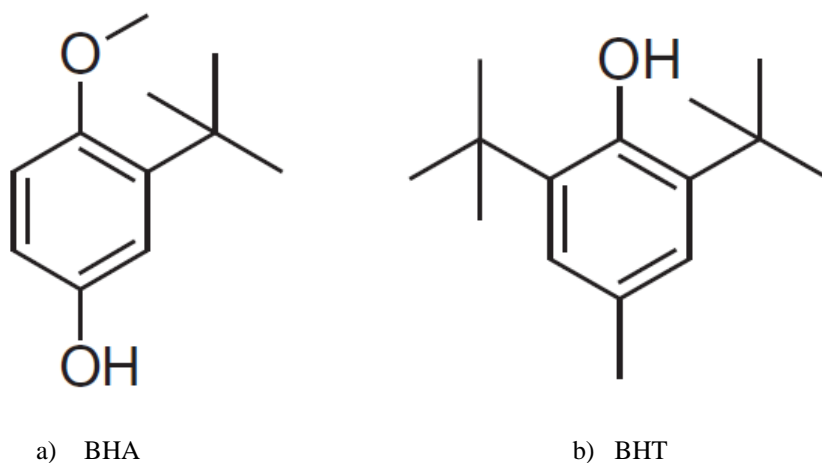
BHA je bela voskasta trdna snov v obliki lističev ali tablet. Je monofenolni antioksidant topen v maščobah, ki se pogosto uporablja v oljih in emulzijah. Učinkovit je v živalskih maščobah in relativno neučinkovit v rastlinskih oljih. Učinkovit je pri kontroli



avtooksidacije kratkoverižnih maščobnih kislin, zato se pogosto uporablja za zaščito kokosovega in palmovega olja v žitnih in slaščičarskih izdelkih. Dobro se obnese tudi med pečenjem, ker je stabilen pri visokih temperaturah in v blagih alkalnih pogojih. Njegova uporaba je v oljih za cvrtje omejena zaradi hlapnosti. Lahko pa se doda pakirni embalaži, da zagotovi varnost živil v pakiranju preko izparevanja. BHA se uporablja tudi za zaščito eteričnih olj in deluje sinergistično v kombinaciji z BHT-jem (Shahidi in Zhong, 2005).

BHT je bela kristalna trdna snov s podobnimi lastnostmi kot BHA. Je primeren za toplotno obdelavo, vendar ni tako stabilen kot BHA. Ima sposobnost regeneracije BHA, zato se pogosto uporablja v kombinaciji z BHA, da zagotovita večjo antioksidativno aktivnost. Oba, BHA in BHT imata rahel fenolni vonj in lahko doprineseta k neželenemu vonju živil, če se uporabljata pri visoki temperaturi dlje časa (Shahidi in Zhong, 2005).

Uporaba BHA in BHT v živilih se je zmanjšala zaradi njunega možnega delovanja kot promotorja kancerogenosti. Oba sta tudi citotoksična, BHT pa lahko slabo vpliva tudi na delovanje ledvic, jeter in pljuč podgan. Obstajajo pa tudi raziskave, ki kažejo, da BHA in BHT ne predstavljata tveganja za pojav raka pri ljudeh, ampak imata celo pozitiven vpliv povezan z njunimi antikancerogenimi in antimutagenimi lastnostmi, kot tudi preprečevanje oksidacije holesterola. Kljub pozitivnim in negativnim poročilom teh sintetičnih antioksidantov na zdravje ljudi, je njuna uporaba podvržena zakonodajnim zahtevam. Čeprav sta oba učinkovita v majhnih koncentracijah, postaneta v živilih prooksidanta, če sta prisotna v večjih koncentracijah (Shahidi in Zhong, 2005).



**Slika 8** Kemijska struktura BHA in BHT (Carocho in Ferreira, 2013)

**Figure 8** Chemical structure of BHA and BHT (Carocho and Ferreira, 2013)

#### 2.7.2.2 Naravni antioksidanti

Raziskave o toksičnosti sintetičnih antioksidantov, višji proizvodni stroški in nižja učinkovitost naravnih antioksidantov, kot so tokoferoli, ter naraščajoča osveščenost

potrošnikov glede varnosti živil, so ustvarili potrebo po identifikaciji alternativnih naravnih in verjetno varnejših virov živilskih antioksidantov (Shahidi in Zhong, 2005).

Askorbinska kislina in tokoferoli so najbolj pomembni komercialni naravni antioksidanti. Drugi viri naravnih antioksidantov vključujejo karotenoide, flavonoide, aminokislino, proteine, hidrolizate proteinov, produkte Maillardove reakcije, fosfolipide in sterole. Številni naravno prisotni fenolni antioksidanti so bili identificirani v rastlinah in rastlinskih izvlečkih. Encimi igrajo tudi pomembno vlogo kot antioksidanti. Naravni antioksidanti omogočajo proizvajalcem živil proizvodnjo stabilnih izdelkov s »čistimi« deklaracijami, z navedbo samih naravnih sestavin. Varnost naravnih antioksidantov ne bi smela biti samoumevna. Potrebna je previdnost, ker so mnogi naravni produkti potencialni kancerogeni, mutageni, teratogeni in varnost mnogih naravnih sestavin z antioksidativno aktivnostjo še ni bila dokazana (Reische in sod., 2002).

Naravni antioksidanti imajo tudi številne slabosti, kot so: uporaba velikih koncentracij, nizka antioksidativna učinkovitost, nezaželen vonj in okus in možne izgube med predelavo (Shahidi in Zhong, 2005).

Mnogi naravni antioksidanti so bolj polarni kot sintetični antioksidanti, z izjemo tokoferolov, karotenov in oljetopnih ekstraktov rožmarina, in zato niso dovolj topni v maščobah (Boskou, 2011).

Raziskovalce zanimajo lastnosti in pojavnost naravnih antioksidantov, kot so tokoferoli in tokotrienoli, askorbinska kislina, karotenoidi, fenolne kisline, flavonoidi, lignani, fitosteroli, ekstrakti rastlin iz družine *Lamiaceae*, olivni lističi, čajni lističi, fosfatidi, orizanol, propolis in drugi viri (Boskou, 2011).

Številne rastline so identificirane kot viri fenolnih spojin z antioksidativno aktivnostjo (Reische in sod., 2002).

Rastlinski fenoli ščitijo rastline pred poškodbo tkiv, ker oksidirajo in se vežejo s proteini in drugimi spojinami. Fenolne spojine delujejo tudi kot obrambni sistem proti herbivorom. Veliko teh spojin ima molekularne podobnosti, vse imajo vsaj en aromatični obroč in hidroksilno skupino. Sem spadajo fenolne spojine, flavonoidi, izoflavoni, galatni estri, lignani, kumarini, stilbeni, flavoni in oligomerni proantocianidini. Vsi skupaj proizvajajo številne antioksidante, ki lahko delujejo po različnih mehanizmih, da dosežejo učinkovit obrambni sistem proti napadu prostih radikalov (Shahidi, 1997).

Spisek naravnih antioksidantov narašča kot rezultat množičnih raziskav, s katerimi izolirajo in identificirajo te spojine v rastlinah.

Začimbe in zelišča se uporabljajo kot aromatična sredstva že tisoče let. Antioksidativno aktivnost začimb in zelišč primarno pripisujejo prisotnosti fenolnih spojin, še posebno fenolnim kislinam in flavonoidom. Močan okus začimb in zelišč omejuje njihovo uporabo v številnih živilih. Raziskovalci so se trudili identificirati in izolirati specifične antioksidativne spojine začimb in zelišč, ki ne doprinesejo nezaželenih okusov in barve

živilom. Do danes, sta edina komercialno dostopna ekstrakta, ki ne vplivata na okus, vonj in barvo živil, ekstrakta rožmarina in žajblja (Reische in sod., 2002).

V oljih za cvrtje se kot naravni antioksidanti najpogosteje uporabljajo tokoferoli in rožmarinov ekstrakt, zaradi svoje dobre topnosti, toplotne stabilnosti in učinkovitosti. V določenih aplikacijah delujeta tudi sinergistično (Reische in sod., 2002).

#### 2.7.2.2.1 Tokoferoli

Tokoferoli in tokotrienoli so monofenolne lipofilne sestavine, ki so prisotne v rastlinskih tkivih. Glavni komercialni vir naravnih tokoferolov je sojino olje. Tokotrienoli, ki so manj pogosti kot tokoferoli, so prisotni v palmovem olju, oju riževih otrobov, žitaricah in stročnicah. Tokoferoli in tokotrienoli so klasificirani kot  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - in  $\delta$ -, odvisno od njihove kemijske zgradbe. Antioksidativna učinkovitost tokoferolov je odvisna od temperature in obstojnost pada v naslednjem vrstnem redu  $\delta$ - >  $\gamma$ - >  $\beta$ - >  $\alpha$ -tokoferol (Shahidi in Zhong, 2005).

*Gama*- in *delta*-tokoferoli in njim ustrezni tokotrienoli zelo dobro ščitijo olja pred avtooksidacijo. Koruzno in bombažno olje vsebujeta večjo količino gama tokoferolov, medtem, ko jih sončnično olje vsebuje zelo malo. To je lahko vzrok za boljšo stabilnost koruznega in bombaževega olja med cvrtjem v primerjavi s sončničnim oljem, čeprav vsebujeta skoraj enako količino linolne kisline (Gupta, 2005).

Naravni tokoferoli (mešanica) so zlato rjavo obarvana, nekoliko viskozna tekočina z značilnim vonjem, medtem ko so sintetični tokoferoli rumeno rjava viskozna tekočina brez vonja. Tokoferoli so topni v rastlinskih oljih in netopni v vodi. Delujejo kot zaključevalci prostih radikalov v antioksidativnih reakcijah in se pogosto uporabljajo v živilih, ki imajo malo naravno prisotnih antioksidantov, kot so živalske maščobe, voski in maslo. Tokoferoli delujejo sinergistično z askorbinsko kislino, citronsko kislino in fosfolipidi. Smatrajo se kot varni živilski aditivi, kljub temu pa v večjih koncentracijah delujejo prooksidativno (Shahidi in Zhong, 2005).

#### 2.7.2.2.2 Ekstrakti rožmarina

Čeprav ni neke definirane razlike med zelišči in začimbami, med zelišča v splošnem spadajo rastlinski deli (listi, stebela, cvetovi, korenine), medtem ko med začimbe spadajo tako zelišča kot tudi aromatična semena (Cuppet in Hall, 1998).

Glede na bioaktivne spojine so znanstveniki preiskovali 31 družinskih vrst, med temi je bila največ pozornosti deležna družina ustnatic Labiatae (*Lamiaceae*). Družina Labiatae sestoji iz približno 3500 vrst, ki so nativne predvsem v mediteranskem območju, čeprav imajo nekatere izvor tudi v Avstraliji, jugozahodni Aziji in južni Ameriki. Med temi se približno 500 vrst tradicionalno uporablja zaradi njihovega širokega spektra delovanja. Med vrste družine Labiatae spadajo naslednja zelišča: bazilika, majaron, origano, rožmarin, žajbelj, timijan in mnoga druga. V vsaki vrsti obstajajo tudi različni kloni, pri rožmarinu celo 17. To je pomembno, ker je med temi kloni velika razlika v koncentraciji posameznih aktivnih spojin (Cuppet in Hall, 1998).

Prvo najobširnejšo študijo zelišč kot antioksidantov so izvedli Chipault in sod. (1952). Raziskali so antioksidativno aktivnost 32 zelišč in njihovih ekstraktov ter ugotovili, da imata rožmarin in žajbelj zelo dobro antioksidativno aktivnost.

Rožmarin je eno od najučinkovitejših zelišč, ki se pogosto uporablja v predelavi živil. Prva uporaba ekstrakta rožmarina kot antioksidanta sega v leto 1955 (Rac in sod., 1955).



**Slika 9**                **Rožmarin (Ellis, 2013)**

**Figure 9**            **Rosemary (Ellis, 2013)**

Ime »rožmarin« je izpeljano iz latinske besede »*rosmarinus*«, kar pomeni morska rosa. Antični Grki so ga imenovali »*antos*«, kar pomeni »rastlina odličnosti« ali »*libanotis*«, ker njegov vonj sprošča. Uporabljal se je že 500 let pred našim štejetjem. Znan je kot rastlina, ki izboljšuje spomin. Raste v mediteranskem okolju. Rožmarin je gost, aromatičen zimzelen grm, visok do 2 m. Ima razvejane, ozke liste z zaokroženimi robovi, ki so spodaj puhasti. Veje so toge, steblo je kvadratno, leseno in rjavo. Cvetovi so majhni, svetlo vijoličasti ali modri in se pojavljajo v socvetjih. Uporabljajo se sveži ali posušeni listi, celi, narezani ali zmleti in eterično olje. Rožmarin ima sladko in svežo, dišečo, rahlo evkaliptusu podobno aromo. Okus je delno pekoč, topel in zeliščni z grenkim priokusom. Je popularna začimba za začimljanje mesa in mesnih izdelkov ter pečenih živil (Charles, 2013).

Rožmarin deluje kot antioksidant in kelator kovin ter kot lovilec superoksidnih radikalov. Rožmarin tudi ščiti naravno prisotne tokoferole v olju (Yanishlieva in sod., 2006).

Rožmarin vsebuje naslednje spojine (Rižner-Hraš, 2000; Berglez, 2002):

- **Eterično olje**

Posušeni listi vsebujejo med 1,5 in 2,5 % eteričnega olja, glavne sestavine predstavljajo  $\alpha$ -pinen, kafa in cineol.

## • Diterpenske fenole

Diterpeni imajo različne funkcionalne vloge v rastlinah: delujejo kot hormoni (giberilini), fotosintetski pigmenti (fitol) in regulatorji odzivov, ki nastajajo zaradi nastanka ran (abietska kislina). Prisotnost fenolnih diterpenov je bila do sedaj poročana samo za rožmarin (*Rosmarinus officinalis*) in za nekatere vrste rodu *Salvia* (Schwarz, 2002).

Fenolna diterpena, karnozol in karnozolna kislina, tvorita 15 % rožmarinovega ekstrakta in predstavljata preko 90 % njegove antioksidativne učinkovitosti (Offord in sod., 1997).

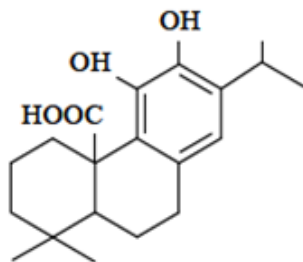
Fenolni diterpeni so znani po močni antioksidativni aktivnosti, močni aktivnosti proti tumorjem, proti-HIV in protimikrobni aktivnosti (Schwarz, 2002).

Ostali fenolni diterpeni, npr. rožmanol, izhajajo iz karnozolne kisline. Pretvorbo lahko povzroči oksidacija (radikali), daljše skladiščenje, ekstrakcija in encimska dehidrogenacija karnozolne kisline (Masuda in sod., 2001).

### ✓ Karnozolna kislina

Karnozolna kislina (slika 10) je diterpenski fenol, v naravi jo najdemo v nekaterih rastlinah družine ustnatic, predvsem v rožmarinu in žajblju. Vsebnost karnozolne kisline v posušenih rožmarinovitih listih je 2-7 %, odvisna pa je od številnih dejavnikov, kot so izpostavljenost toplotnemu stresu in suši, koncentracija CO<sub>2</sub> v zraku, sezonske podnebne spremembe, način sušenja, čas obiranja in gnojenje.

Karnozolna kislina se nahaja v največji koncentraciji v lističih rožmarina in žajblja (*Rosmarinus officinalis* L., *Salvia officinalis* L.), največ v kloroplastih. Kot organel je kloroplast najbolj izpostavljen oksidativnim poškodbam v celici, prav zaradi višjih vsebnosti kisika in tvorbe radikalov, zaradi opravljanja funkcije fotosinteze. Radikali lahko poškodujejo membrano in povzročijo celično smrt, ki jo karnozolna kislina s svojo antioksidativno aktivnostjo ustavi. Koncentracija karnozolne kisline v listih je odvisna od letnega časa, in sicer je imajo največ listi poleti, najmanj pa pozimi. Nizka vlaga povzroči stresno situacijo, ki posledično prav tako poveča koncentracijo karnozolne kisline (Schwarz, 2000).



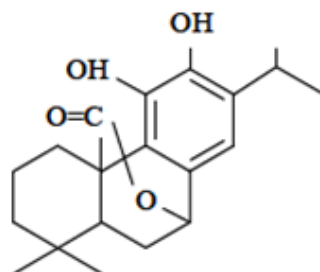
Slika 10                      Kemijska struktura karnozolne kisline (Zhang in sod., 2012)

Figure 10                    Chemical structure of carnosic acid (Zhang et al., 2012)

Karnozolna kislina je topna v metanolu, etanolu, acetonu in deloma topna v vodi. Je zelo učinkovit antioksidant, ki deluje kot donator vodikovega atoma iz hidroksilne skupine lipidnemu radikalnemu in tako prepreči verižno reakcijo oksidacije. Deluje tudi protimutageno, protikancerogeno in protimikrobno, ter ima ugoden vpliv na človekovo zdravje. Pri antioksidativni učinkovitosti gre za skupen vpliv dveh *orto* fenolnih skupin in sosednje izopropilne skupine. Za izolacijo karnozolne kisline iz rastlin se uporablja ekstrakcija s superkritičnim ogljikovim dioksidom in ekstrakcija s konvencionalnimi topili, kot so aceton, etanol in metanol.

✓ Karnozol

Karnozol (slika 11) je fenolni diterpenski  $\delta$ -lakton, ki ga najdemo v rožmarinu in žajblju. Čisti karnozol obstaja v obliki brezbarvnih kristalov, brez vonja in okusa. Njegova koncentracija v rožmarinu je približno desetkrat manjša od koncentracije karnozolne kisline.



Slika 11            Kemijska struktura karnozola (Zhang in sod., 2012)

Figure 11        Chemical structure of carnosol (Zhang et al., 2012)

• **Fenolne kisline**

✓ Rožmarinska kislina

Rožmarinska kislina je dimer kavne kisline. Vsebnost rožmarinske kisline v rastlinah je med 0,07 in 0,84 %. Razen v rožmarinu, jo najdemo tudi v melisi, žajblju, timijanu, origanu, majaronu, baziliki, šetrajju in meti. Rožmarinska kislina je dobro topna v vodi ter deluje antioksidativno predvsem v vodnih medijih in emulzijah. Deluje tudi protivnetno, protivirusno in protibakterijsko.

• **Druge organske kisline** (askorbinska in nikotinska kislina)

• **Flavone**

• **Triterpenske kisline** (ursolna kislina, oleanolna kislina)

- ✓ ursolna kislina
- ✓ oleanolna kislina

• **Druge triterpene** (betulin,  $\alpha$ - in  $\beta$ -amirin)

- **Steroide** (fitosteroli,  $\beta$ -sitosterol)
- **Lipide**
- **Ogljikove hidrate**

Ekstrakti rožmarina se uporabljajo v predelavi živil že desetletja. Trenutno so dobavljivi koncentrirani rožmarinovi ekstrakti, ki ne vplivajo na okus in barvo živil. Uporaba teh proizvodov zelo narašča z naraščajočo zahtevo potrošnikov po naravnih živilskih aditivih. Ti ekstrakti so dosti dražji od sintetičnih alternativ, uporabljajo se v višjih koncentracijah zaradi nižje učinkovitosti (Reische in sod., 2002).

Prednost rožmarina kot naravnega antioksidanta je v zadostni razpoložljivosti surovine in visokega antioksidativnega potenciala. Surovi in prečiščeni ekstrakti rožmarina so zdaj komercialno dostopni v praškasti in tekoči obliki z različnimi koncentracijami aktivnih spojin (Offord in sod., 1997).

Raziskovalci so ugotovili, da so ekstrakti rožmarina učinkovitejši od ekstraktov žajblja (Yanishlieva-Maslarova, 2003).

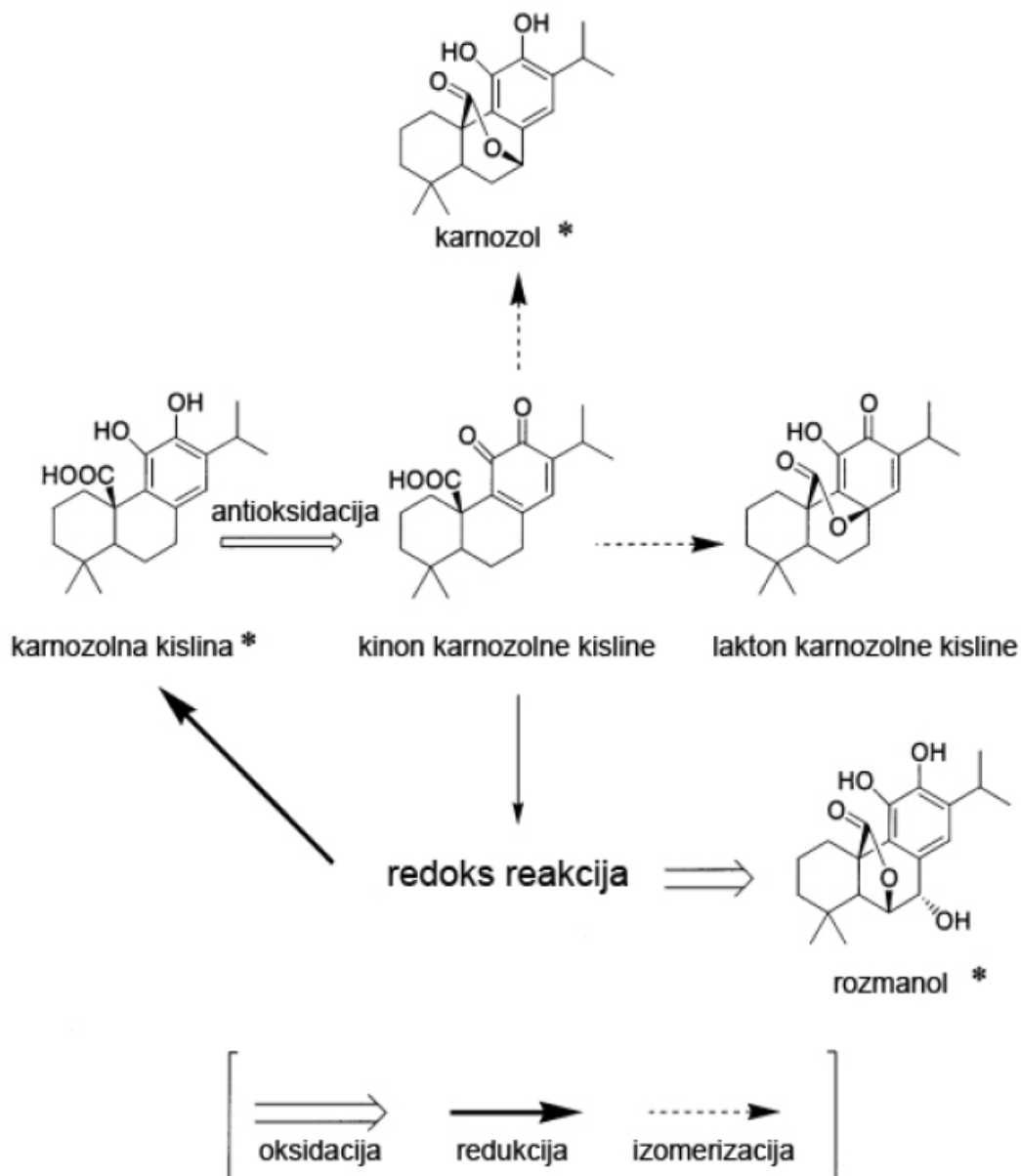
Prisotnost kateholne strukture (*orto*-dihidroksi skupin) v aromatskem obroču fenolne diterpenske strukture (npr. karnozolna kislina, epirožmanol) je pomemben strukturni element za visoko antioksidativno učinkovitost rožmarinovitih ekstraktov (Shan in sod., 2005). Sintetični fenolni antioksidanti, BHA in BHT, imajo enojen aromatski obroč z eno hidroksilno skupino, ki je sposobna donirati vodikov atom. Karnozolna kislina ima dve hidroksilni skupini, ki služita kot donorja vodikovih atomov. Te hidroksilne skupine lahko vežejo tudi prooksidativne kovine in tako preprečujejo oksidacijo preko dveh mehanizmov (Brewer, 2011).

Številni drugi diterpeni, kot so rožmanol, epirožmanol, izorožmanol, rožmaridifenol in rožmarikinon tudi imajo antioksidativne lastnosti. Rožmarinove spojine delujejo antioksidativno zaradi njihove sposobnosti, da donirajo vodikov atom in nevtralizirajo proste radikale (Wijeratne in Cuppet, 2006).

Sprva so pripisovali visoko antioksidativno aktivnost rožmarinovega ekstrakta kaskadni reakciji, pri kateri iz karnozolne kisline nastajajo novi produkti z antioksidativno učinkovitostjo, kot so karnozol, rožmanol in gladozol (Richeimer in sod., 1999).

Z novejšimi raziskavami so odkrili (Masuda in sod., 2002) nov mehanizem kinona karnozolne kisline (slika 12). Z oksidacijo karnozolne kisline nastane kinon karnozolne kisline, ki je neaktiven v radikalskih reakcijah in zelo nestabilen v raztopinah. V raztopini se pretvori po dveh poteh. Prva je proces izomerizacije do derivata laktona – karnozola. Druga pot je spontana redoks reakcija pri kateri nastaneta karnozolna kislina in rožmanol. Pot je odvisna od lastnosti topila. Z vidika antioksidativne aktivnosti, neaktiven kinon karnozolne kisline proizvaja najbolj aktivno karnozolno kislino. Tudi karnozol in rožmanol sta znana kot močna antioksidanta.

Antioksidativna učinkovitost rožmarinovit ekstraktov je odvisna od njihove fenolne sestave. V lipidnih sistemih so bolj učinkoviti ekstrakti z večjo vsebnostjo fenolnih diterpenov, medtem ko ima v vodnih sistemih največjo učinkovitost rožmarinska kislina (Del Baño in sod., 2003).



Slika 12      Antioksidativni mehanizem kinona karnozolne kisline. Različne oblike puščic pomenijo drugačen tip reakcije, kot je pokazano na dnu slike. Zvezdica (\*) označuje spojine z antioksidativno aktivnostjo (Masuda in sod., 2002)

Figure 12      Antioxidant mechanism of kinon of carnosic acid. Different types of arrows represent different type of reaction, as showed at the bottom of figure. Star (\*) marks compounds with antioxidant capacity (Masuda et al., 2002)



Rožmarinovi ekstrakti so še posebej aktivni kot antioksidanti pri visokih temperaturah v oljih za cvrtje. Ščitijo olja med cvrtjem in njihovo antioksidativno delovanje se prenaša tudi v ocvrto živilo. Aktivni spojini rožmarina, karnozolna kislina in karnozol, se hitro razgradita med toplotno oksidacijo v produkte, ki ostanejo aktivni kot antioksidanti v segrevanih maščobah. Termogravimetrična analiza je pokazala, da je rožmarinov ekstrakt stabilen pri temperaturah cvrtja. Rožmarin ima veliko antioksidativno moč in zagotavlja odličen zaščitni dejavnik v oksidativni stabilnosti lipidnih matriksov (Cordeiro in sod., 2013).

Rožmarinov ekstrakt preprečuje nastanek polarnih spojin, polimerov in razgradnjo polinenasičenih triacilglicerolov ter izboljša senzorične lastnosti ocvrtega krompirčka (Yanishlieva-Maslarova, 2003).

Rožmarinov ekstrakt se uporablja tudi v medicinske namene. Uporablja se za zdravljenje trebušnih krčev, stimulira apetit in izločanje želodčnih sokov. Uporaben je proti glavobolom in živčnosti. Zagotavlja sprostitev mišičnih bolečin in bolečin v sklepih. Uporablja se za zdravljenje depresij, migren ter bolezni jeter in prebavil. Rožmarinov ekstrakt stimulira cirkulacijo krvi, ima protimikrobni, protibakterijski, protiplesnivi, protivirusni, protimikrobni, protiparazitski, antiproliferativni, spazmolitični, protivnetni in rahlo analgetičen učinek (Charles, 2013).

#### 2.7.2.2.3 Citratni estri mono- in digliceridov maščobnih kislin (CITREM)

CITREM sicer zakonodajno ne spada v skupino antioksidantov, ampak v skupino emulgatorjev z E številko E462c. Ker se proizvaja iz rastlinskih olj in dokazano sinergistično deluje z drugimi antioksidanti, ga bomo v tem delu uvrstili v skupino naravnih antioksidantov. Vsebuje približno 15 % citronske kisline.

Citronsko kislino najdemo v skoraj vseh rastlinskih in živalskih vrstah. Veže lahko kovinske ione s tem, da tvori vez med kovino in karboksilnimi ali hidroksilnimi skupinami molekule citronske kisline. Citronska kislina je zelo učinkovita v zaviranju oksidativne razgradnje maščob v živilih in se običajno dodaja rastlinskim oljem po deodorizaciji (Rižner Hraš in sod., 2000).

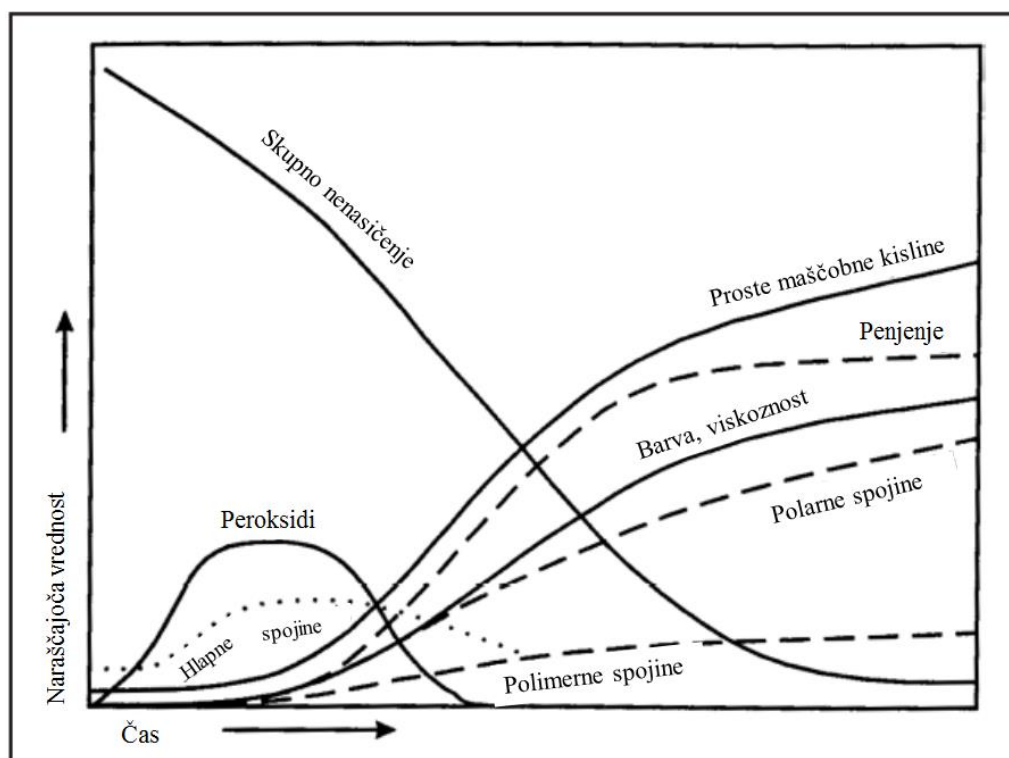
Citronska kislina je bila prvič izolirana in kristalizirana iz limoninega soka leta 1784. Komercialna proizvodnja se je začela v Angliji leta 1860. Citronska kislina se dosti uporablja v hrani, pijačah in farmacevtskih izdelkih. Čeprav je ena najstarejših industrijskih fermentacij, svetovna proizvodnja še vedno hitro narašča. Citronska kislina je zaradi slabe topnosti manj učinkovita v hidrofobnih medijih. Vezava alkilnih verig in drugih lipofilnih molekul na molekule citronske kisline, da nastane CITREM je učinkovita pot rešitve problema. Kot ekološko prijazni produkti so maščobo topni derivati citronske kisline (CITREM) biorazgradljivi, netoksični in se lahko uporabljajo kot plastifikatorji, v kozmetičnih izdelkih, kot površinsko aktivne snovi ali vodoodporne snovi. CITREM se lahko uporablja kot živilski aditiv za izboljšanje topnosti in stabilnosti, zaradi njegove kislosti in emulzifikacije. Citratni estri (CITREM) so ponavadi pripravljene kemično, z reakcijo acilglicerola s citronsko kislino ali njenim anhidridom v prisotnosti kemičnega katalizatorja (Huang in sod., 2012).

CITREM je površinsko aktivna snov z negativnim nabojem, lahko veže kovinske ione (Sørensen in sod., 2008) in ima antioksidativni učinek (Nilsson in sod., 2012).

## 2.8 MERJENJE KAKOVOSTI OLJ ZA CVRTJE

Za določevanje razgradnih spojin toplotne oksidacije, ki povzročajo pomembne spremembe v fizikalnih, kemijskih in prehranskih lastnostih maščob za cvrtje, se uporabljajo številne metode. Viskoznost in gostota naraščata, barva potemni, penjenje narašča in nenasičenost se zmanjša. Narašča količina prostih maščobnih kislin, opazi se majhen porast peroksidnega števila in konjugiranih dienov. Najbolj pomembna sprememba maščob med cvrtjem je nastanek polarnih spojin in polimerov. Polimeri predstavljajo približno 50 % spojin, ki nastajajo med toplotno razgradnjo med cvrtjem (Frankel, 2005).

Fizikalne in kemijske spremembe olja med cvrtjem so prikazane na sliki 13.



**Slika 13** Fizikalne in kemijske spremembe olja med cvrtjem (Choe in Min, 2007)

**Figure 13** Physical and chemical changes of oil during frying (Choe and Min, 2007)

S tem, ko se te reakcije nadaljujejo, se funkcionalna, senzorična in prehranska vrednost olja za cvrtje spremeni in doseže točko, pri kateri se ne more več pripraviti visoko kakovostna hrana. Zaradi tega je zelo pomembno, da se določi stopnja, pri kateri olje ni več primerno za uporabo (Shahidi, 2002).

Vzroki razgradnje olja so prikazani v preglednici 12.

Ovrednotenje kakovosti olja za cvrtje se lahko izvrši na več načinov. Prvi poskus definiranja razgrajenega olja za cvrtje so pripravili v Nemškem inštitutu za raziskave maščob leta 1973. Priporočili so, da: “je rabljeno olje za cvrtje razgrajeno, če sta brez kakršnega koli dvoma vonj in okus spremenjena; ali v primeru dvomljive senzorične ocene, koncentracija v petrol etru netopnih oksidiranih maščobnih kislin znaša 0,7 % ali več in je točka dimljenja nižja od 170 °C; ali, če znaša koncentracija v petrol etru netopnih oksidiranih maščobnih kislin 1 % ali več”. Čeprav je senzorična ocena živil najpomembnejša ocena kakovosti, ocena okusa ni praktična za rutinsko kontrolo kakovosti. Zmeraj je boljše imeti kvantitativno metodo, pri kateri lahko točko zavrnitve ugotovimo s senzorično oceno (Shahidi in Wanasundara, 2002).

**Preglednica 12 Spremembe v fizikalnih in kemijskih parametrih med cvrtjem; glavni vzroki in korelacije z razgradnjo olja (Gertz in Matthäus, 2008)**

**Table 12 Changes in physical and chemical parameters during frying; main reasons and correlations with oil degradation (Gertz and Matthäus, 2008)**

parameter	sprememba med cvrtjem	spremembo povzročajo	korelacija z razgradnjo olja
UV	narašča	konjugirane maščobne kisline	ja
lomni količnik	narašča	polarne spojine	ja
gostota	narašča	polimerizirani triacilgliceroli	ja
dielektrični koeficient	pada	polarne oksidirane spojine, na katere vplivajo proste maščobne kisline in voda	ja
barva	postane bolj intenzivna in temnejša	produkti Maillardove reakcije: aminokisline, proteini, sladkorji in ogljikove spojine	ja
prevodnost	narašča	polarne spojine	ja
površinska napetost	pada	polarne spojine	ja
točka dimljenja	pada	hlapni oksidirani produkti	ja
specifična toplota	narašča	polarne spojine	ja
viskoznost	narašča	polimerizirani triacilgliceroli	ja
anizidinsko število	narašča	nehlapni aldehidi	ja
jodno število	pada	nastanek oksidiranih maščob	ja
peroksidno število	niha	hidroperoksidi	ne
polarne spojine	narašča	oksidirani in oligomerizirani razgradni produkti	ja
polimerizirani triacilgliceroli	narašča	oksidirani in neoksidirani polimerizirani triacilgliceroli	ja
proste maščobne kisline/kislinsko število	niha	produkti hidrolize in oksidacije s prosto karboksilno skupino	ne
v petroletru netopne oksidirane maščobne kisline	narašča	oksidirani polimerizacijski produkti	ja

V praksi se še vedno običajno delavec na liniji za cvrtje glede na svoje izkušnje odloči, kdaj ustaviti cvrtje in menjati olje. Odločitev je pogosto osnovana na fizikalnih spremembah, kot so barva, vonj, penjenje in dimljenje. Ocenjevanje razgradnje olja z uporabo vizualnih indikatorjev je neprimerno in pogosto nezanesljivo, predvsem zaradi subjektivnosti. Zaradi tega bi se morali uporabljati enostavni in objektivni parametri za ocenitev kakovosti in uspešnosti olja za cvrtje. Standardne metode, osnovane na kvantitativnem določanju primarnih oksidacijskih produktov, kot so peroksidno število, vsebnost prostih maščobnih kislin in konjugiranih dienov, so običajno nezanesljive, ker so produkti, ki se merijo, toplotno nestabilni (Fritsch, 1981; Gertz in Matthäus, 2008). Na splošno so metode, ki so osnovane na določevanju nehlapnih razgradnih produktov, bolj zanesljivi indikatorji razgradnje olja kot tiste, osnovane na hlapnih ali nestabilnih razgradnih produktih (Melton in sod., 1994; Gertz in Matthäus, 2008).

Fritsch (1981) je dokazal, da je v večini primerov cvrtja količina prostih maščobnih kislin premajhna, da bi vplivala na kakovost živil. Vendar pa se v industrijskih postopkih kakovost olja za cvrtje ponavadi preverja z merjenjem barve in/ali vsebnostjo prostih maščobnih kislin. Določanje polarnih spojin v oljih za cvrtje se pojavlja kot zanesljiva metoda za določitev uporabnega roka trajanja maščob in olj, podvrženih cvrtju in je tudi uradna metoda v Evropi (Shahidi in Wanasundara, 2002).

V preglednici 13 so podane razne metode merjenja razgradnih produktov v oljih za cvrtje.

**Preglednica 13** Metode merjenja razgradnih produktov v oljih za cvrtje (Warner, 2002)

**Table 13** Methods of measuring frying oil degradation products (Warner, 2002)

nehlapne spojine in sorodni procesi	hlapne spojine in sorodni procesi
jodno število	peroksidno število
sestava maščobnih kislin	konjugirani dieni
polarne spojine	hlapne spojine
proste maščobne kisline	senzorična analiza okusa in vonja
dielektrična konstanta	
barva	
viskoznost	
točka dimljenja	
višina pene	

V industriji prigrizkov običajno uporabljajo naslednje tehnike za identifikacijo in kvantifikacijo spojin, ki so dogovorne za potrošnikovo zavrnitev produkta zaradi nesprejemljivega okusa (Gupta, 2005):

- z dobro zasnovanim protokolom roka trajanja se določijo postopki vzorčenja olja in živila;

- visoko usposobljen analitik analizira razgradne produkte v olju za cvrtje in v živilu (svežem in pakiranem);
- dobro zasnovan potrošniški test ali več testov, s katerimi se določi stopnja, v kateri se okus oceni kot neustrezen;
- identifikacija in kvantifikacija razgradnih produktov olja, ki so odgovorni za zavrnitev živila zaradi neustreznega okusa;
- med parametri kakovosti olja in potrošniškim testom se naredi statistična korelacija, da se določijo vrednosti pragov zaznave za markerje, odgovorne za kvar živila;
- podatki se korelirajo z začetno kakovostjo olja v živilu, da se ugotovijo standardi za kakovost olja za cvrtje v procesu.

Priporočene meje za zaznavanje in definicijo razgradnih produktov olj za cvrtje, so bile povzete in predstavljene na 5. Mednarodnem simpoziju februarja 2005 (Drummond, 2005):

Olje/mast za cvrtje je razgrajeno/a:

- če sta vonj in okus vprašljiva,
- če okus in vonj nista jasna, vendar so rezultati kemijskih analiz presegli mejne vrednosti:
  - ✓ polarne spojine max. 24 % in
  - ✓ polimerizirani trigliceridi max. 12 %.

Priporočena je tudi uporaba hitrih testov za nadzor kakovosti olja, ki pa morajo imeti naslednje lastnosti (Drummond, 2005):

- morajo imeti dobro korelacijo z mednarodno priznanimi standardnimi analiznimi metodami,
- zagotavljati objektivne rezultate,
- enostavni za uporabo,
- varni za uporabo v predelavi/pripravi živil,
- zagotavljati kvantitativne rezultate,
- robustni.

Hitre metode se uporabljajo med ali takoj po cvrtju. Za nadzor cvrtja se uporabljajo spremembe v dielektrični konstanti. Najvišja korelacija z naraščanjem polarnih spojin je nakazala, da oksidacijski produkti v veliki meri povzročajo spremembe v dielektrični konstanti (Frankel, 2005).

### **2.8.1 Polarne spojine**

Vsi razgradni produkti (peroksidi, kisline, monoacilgliceroli, diacilgliceroli, ciklične spojine, oksidirani monomerni, dimerni in oligomerni triacilgliceroli), razen nepolarne frakcije (nespremenjeni trigliceridi), spadajo med polarne spojine (preglednica 14). Vsebnost polarnih spojin je najpomembnejše merilo za ocenjevanje razgradnje olj in maščob med cvrtjem (Dobarganes in Marquez-Ruiz, 2007).

Maksimalna dovoljena meja polarnih spojin v številnih evropskih državah je 25 do 30 %. To velja za vse polarne spojine, tudi tiste, ki so nastale zaradi navzkrižne kontaminacije s cvrtim živilom (Frankel, 2005).

Polarne spojine se delijo na dve skupini: polimere in razgradne produkte. Polimeri imajo molekulsko maso večjo kot trigliceridi v svežem olju, medtem ko imajo t.i. razgradni produkti molekulsko maso manjšo od trigliceridov (Bansal in sod., 2010a).

Trend zadnjih 10. let se nagiba k dvema analitičnima pristopoma: določanju polarnih spojin in določanju polimernih spojin. Polarne spojine se smatrajo kot boljši indikator, ker zajamejo vse razgradne produkte, ki niso trigliceridi, medtem ko so polimerne spojine del polarnih spojin (Bansal in sod., 2010a).

Dielektrična konstanta je najpriročnejši indikator kakovosti med postopkom cvrtja. Z razgradnjo olja vsebnost polarnih spojin narašča, kar direktno vpliva na povečanje dielektrične konstante (Bansal in sod., 2010a).

**Preglednica 14**                      **Klasifikacija razgradnih produktov olja glede na molekulsko maso (Paul in Mittal, 1997)**

**Table 14**                              **Classification of degradation products of oil according to their molecular weights (Paul and Mittal, 1997)**

glavne frakcije kemijske razgradnje	spojine, ki sestavljajo frakcijo	približna molekulska masa (Daltoni)
polimeri (nizka polarnost)	visoko polimerizirani materiali	2,800-10,000
	trimeri	2,800
	dimeri	1,800
trigliceridi (nevtralni)	trigliceridi	900-1,000
	digliceridi	600
razgradni produkti (visoka polarnost)	monogliceridi	300
	proste maščobne kisline	okoli 300 ali manj
	ciklični monomeri	
	ne-ciklični monomeri	
	hlapne spojine	

Polarne spojine se določajo klasično z raztapljanjem maščobe v relativno nepolarnem topilu, kot sta toluen in benzen, nato se raztopina spusti skozi kolono s silikagelom, ki absorbira polarne spojine. Po uparjanju topila se nepolarna frakcija stehta in polarne spojine se izračunajo iz razlike v teži ali pa se določijo direktno z izpiranjem iz kolone z dietiletom ali mešanico kloroforma in metanola (Shahidi in Wanasundara, 2002).

Zaradi zamudnosti in visoke cene postopka določanja polarnih spojin s klasično metodo se v živilski industriji vedno bolj nagibajo k uporabi hitrih testov (Bansal in sod., 2010a).

## 2.8.2 Proste maščobne kisline

Proste maščobne kisline negativno vplivajo na stabilnost olja za cvrtje in ocvrtega živila. (Frankel, 2005). Vsebnost prostih maščobnih kislin v olju nam da podatek o količini maščobnih kislin, ki so se odcepile od triacilglicerolne molekule. Uporabljajo se za monitoring kakovosti cvrtja (Stier, 2001). Proste maščobne kisline nastajajo kot rezultat hidrolize, oksidacije zaradi nastanka prostih radikalov in cepitve dvojnih vezi med cvrtjem (Paul in Mittal, 1997). Ta parameter se pogosto uporablja za določitev primernosti ocvrtih olj za humano prehrano, vrednost 2 % pa je definirana kot meja, pri kateri je olje neprimerno za uporabo (Matthaus, 2006). Mnenja glede merjenja vsebnosti prostih maščobnih kislin so deljena, ker bi naj bila njihova vsebnost premajhna za spremljanje kakovosti živil (Frankel, 2005).

## 2.8.3 Konjugirani dieni in trieneni

Oksidacija polinenasičenih maščobnih kislin se pojavi z nastankom hidroperoksidov, ki so nestabilni pri visokih temperaturah in se razgradijo. Dvojne vezi se prestavijo in nastanejo konjugirani dieni, ki pa ostanejo v segrevanih maščobah (Ramalho in Jorge, 2008). Kvantitativno se določajo z absorpcijo pri 232-234 nm (Ali in sod., 2009). Z nadaljevanjem oksidacije in razpadom hidroperoksidov nastajajo sekundarni produkti s konjugirano triensko strukturo. Konjugirani ketodieni, dienali in trieneni absorbirajo svetlobo pri 268-270 nm. Pri večini olj in njihovih mešanic narašča ultravijolična absorpcija po cvrtju; večje spremembe so opazne pri trienih v primerjavi z dieni (Ali in sod., 2009).

## 2.8.4 Barva

V praksi barva olja postane neprimerna dosti preden vonj in okus olja postaneta sporna (Paul in Mittal, 1997). Priporočila in zakonodaja nekaterih držav določa, da mora biti barva eden od kriterijev uporabe olja za cvrtje (Bansal in sod., 2010a).

Mnogi produkti, ki nastajajo med termooksidativno spremembo spojin olja, doprinesejo k spremembi barve med cvrtjem. Intenzivnost barve olja za cvrtje narašča z naraščanjem količine polimernih spojin (Stevenson in sod., 1984; Blumenthal, 1991).

Na spremembo barve vpliva tudi izpiranje pigmentov iz živila v olje za cvrtje in prisotnost produktov Maillardove reakcije (Lalas in sod., 2006; Delgado-Andrade in sod., 2010). Dodatno še delci ocvrtega živila karamelizirajo in v olje spustijo maščobotopne pigmente (Vijayan in sod., 1996).

Ne glede na izbrano metodo določanja barve, morajo biti rezultati merjenja barve razloženi previdno, ker je stopnja razvoja barve različna od olja do olja in je tudi odvisna od začetne kakovosti olja in živila, ki se v olju cvre (Gertz, 2000).

Dostopna je učinkovita, cenovno ugodna in visoko občutljiva tehnika za merjenje barve in se pogosto uporablja namesto senzoričnega ocenjevanja. Senzorična zaznava barve je večdimenzionalna in jo je težko meriti z instrumenti. Instrumentalno merjenje barve mora natančno predvideti senzorični odziv, da je uporabno (Sandusky in Heath, 1998).

Človeško oko zazna vsako barvo kot kombinacijo rdeče, zelene in modre barve. To so izkoristili v tehnične namene in sestavili aparat za merjenje barve – kromameter. Kromameter deluje na principu človeškega očesa. Barvo vzorca razdeli na tri komponente, ki jih predstavi v določenem koordinatnem sistemu in poda rezultate v  $L^*$ ,  $a^*$  in  $b^*$  koordinatah.

Razlike posameznih komponent pomenijo:

- +  $a^*$  = bolj rdeč (manj zelen),
- $a^*$  = bolj zelen (manj rdeč),
- +  $b^*$  = bolj rumen (manj moder),
- $b^*$  = bolj moder (manj rumen),

višja  $L^*$ -vrednost pomeni svetlejšo barvo,

nižja  $L^*$ -vrednost pomeni temnejšo barvo.

Tri najpomembnejše lastnosti barve so barvni odtenek, nasičenost ali gostota in barvna vrednost (Boakye in Mittal, 1996).

Barvni odtenek opisuje vizualni občutek glede na to, kateri barvi ali razmerju dveh zaznavnih barv rdeče, rumene, zelene in modre se površina izkaže podobna. Nasičenost barve opisuje intenzivnost osnovnih barv, pri tem pa se mora upoštevati tudi vsebnost bele svetlobe. Vrednost barvne razlike pa meri spremembo v treh komponentah barv: svetlost  $L^*$ , rdeče-zeleno  $a^*$  in rumeno-modro  $b^*$  vrednost. Izmerjene  $L^*$ ,  $a^*$  in  $b^*$  vrednosti se lahko uporabijo za izračun sprememb v vrednosti barvne razlike, svetlosti, barvnem odtenku in nasičenju barve (Moore, 1988).

Iz vrednosti  $L^*$ ,  $a^*$  in  $b^*$  lahko izračunamo  $\Delta E$ .  $\Delta E$  je vrednost barvne razlike, ki nam da celotno razliko v barvi med dvema izmerjenima vzorcema. Izračunamo jo z relacijo:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \dots 15$$

Z absolutno vrednostjo ugotovljene celotne barvne razlike ( $\Delta E$ ) je primerljiva vizualna ocena razlike v barvi (preglednica 15), podana s strani povprečnega opazovalca.

**Preglednica 15** Primerjava absolutnih vrednosti celotne barvne razlike ( $\Delta E$ ) z vizualno oceno barvnih razlik (DIN 5033, 1992)

**Table 15** Comparison of the absolute values of total color difference ( $\Delta E$ ) with a visual assessment of color differences (DIN 5033, 1992)

celotna barvna razlika ( $\Delta E$ )	vizualna ocena barvne razlike
<0,2	ni opazna
0,2 – 0,5	zelo šibka
0,5 – 1,5	šibka
1,5 – 3,0	jasna
3,0 – 6,0	zelo jasna
6,0 – 12,0	močna
>12,0	zelo močna



V preglednici 16 so našteve snovi povezane s spremembo barve med cvrtjem.

**Preglednica 16** Snovi, odgovorne za spremembe barve olj med cvrtjem (Paul in Mittal, 1997)

**Table 16** Substances responsible for the changes in colour of oil during frying (Paul and Mittal, 1997)

barvna komponenta	snovi, odgovorne za spremembe
potemnenje (L* vrednost)	ogljikovi delci, ki nastanejo med karbonizacijo fenolne spojine porjavenje in druge reakcije mila
rdeča barva (a* vrednost)	produkti oksidacije polimerizacijski produkti karbonizacijski produkti kroma-5,6-kinoni
rumena barva (b* vrednost)	karotenoidi, ksantofili

## 2.9 MERJENJE KAKOVOSTI OCVRTEGA KROMPIRČKA

Za določitev zanesljivih kakovostnih kriterijev za sprejemljivost pri potrošnikih, je potrebno testirati tudi ocvrta živila, ne le olj. Najbolj občutljivi metodi sta senzorična analiza in plinska kromatografija hlapnih spojin (Frankel, 2005).

Zaželeno je, da senzorični analizi sledi še izveden objektivni test (Tarladgis in sod., 1960).

### 2.9.1 Senzorična analiza

Senzorična kakovost je eden najpomembnejših parametrov kakovosti, ki ob fizikalno-kemijskih in mikrobioloških kazalcih prehranske vrednosti in zdravstvene neoporečnosti enakovredno določa kakovost in uporabnost izdelka. Senzorična kakovost je ena ali skupek več lastnosti živil ali hrane, ki jo merimo ali vrednotimo z enim ali več človeškimi čutili: vidom, vohom, okusom, tipom in sluhom (Žlender, 1997).

Čutila so organi, ki s pomočjo čutilnih celic (receptorjev) sprejemajo dražljaje iz okolice telesa in po čutilnih živcih sporočila prevajajo v možgane, kjer nastajajo zaznave (Bučar in sod., 1989).

Vizualno zaznamo obliko, velikost, barvo, konzistenco ali teksturo, splošne podatke (deklaracijo) o izdelku in napake.

Z vohom zaznamo značilnost, intenzivnost in harmoničnost vonjev ter njihove napake.

Z okušanjem v ustih zaznamo značilnost, intenzivnost, polnost, harmoničnost okusov (kombinacije sladko, grenko, slano, kislo) in napake okusov.

S tipom in uporabo sile (s prsti in rokami, z ustnicami in v ustih pred in med žvečenjem hrane) zaznamo konzistenco tekočih živil in teksturo čvrstih živil. Temeljne teksturne lastnosti so: mehkoba – trdota, grobost – nežnost, drobljivost – trdnost, vlaknatost, lepljivost, gobavost, mastnost, ostanek veziva in druge (Žlender, 1997).

Senzorična analiza je orodje za objektivno merjenje in vrednotenje kakovosti živil. Uporablja se v kontroli kakovosti in raznih raziskavah. Z upoštevanjem določenih pogojev dobi subjektivno mnenje značaj rezultata meritve. Merilni instrument, ki posreduje te rezultate, je človek. Delovati mora objektivno, izključiti mora svoj osebni odnos do živila, ki ga ocenjuje. Variabilnost rezultatov se zmanjša, postavijo se na isto osnovo in tako postanejo primerljivi (Sotlar, 1996).

### **2.9.2 Vsebnost malonaldehida**

V reakciji 2-tiobarbiturne kisline (TBA) z oksidacijskimi produkti nenasičenih maščobnih kislin se tvori rdeč pigment, ki se določi spektrofotometrično in nam da podatek o količini nastalega sekundarnega oksidacijskega produkta malonaldehida. Obstajajo različne izvedbe TBA testa na živilih: iz ekstrahirane maščobe ali direktno iz živila. Slednja je bolj primerna, ker vključuje tudi lipide, vezane na proteine in fosfolipide, ki jih ne bi mogli ekstrahirati z običajnimi topili. TBA vrednost je definirana z mg malonaldehida na kg živila/vzorca (Tarladgis in sod., 1960).

### **2.9.3 Vsebnost akrilamida**

Zgodnje metode določanja akrilamida vključujejo ekstrakcijo tekoče-tekoče, derivatizacijo in GC/ECD ali GC/MS analizo. Te metode imajo visoko mejo detekcije, kar omejuje njihovo uporabnost pri določanju manjših količin akrilamida v živilih. Novejše metode za pripravo vzorca uporabljajo eno ali dve zaporedni ekstrakciji na trdni snovi pred LC/MS detekcijo. Te metode zagotavljajo čistejše ekstrakte za analizo, vendar so zamudne in drage, zato so razvili preprost in učinkovit način za ekstrakcijo akrilamida iz vzorcev hrane, z uporabo strata-X-C kolon, ki vsebujejo patentirano polimerno smolo in detekcijo akrilamida s HPLC ali MS metodami (Peng in sod., 2003).

## **2.10 ODPADNA OLJA ZA CVRTJE**

Opadna olja in masti za cvrtje se predelajo in uporabljajo za živalsko prehrano. Manjše količine se uporabljajo za proizvodnjo surovin maščobnih kislin. Zbran odpadni material vsebuje majhne količine vlage in delce živil, vendar ima na splošno vsebnost maščobnih kislin presega 90 %. Ta material se predela z uporabo indirektna pare za sušenje in s filtracijo, da se odstranijo trdni delci. Odpadna olja se uporabljajo tudi v proizvodnji goriv in energije. Rafinirano sojino olje je poglavitna surovina za proizvodnjo biodizla. Mešanica odpadnih olj in masti ni primerna za to aplikacijo zaradi večjih vsebnosti prostih maščobnih kislin in neustrezne točke tališča, vendar je povpraševanje po teh surovinah za proizvodnjo biodizla vedno večje (Boyer, 2007).

Biodizel je eden od pomembnih virov alternativne energije in postaja vse bolj strateška surovina zaradi okoljevarstvenih problemov, zmanjšanja fosilnih virov energije ter naraščanja računov uvožene energije, ki jih povzročata nihanje cen nafte. Biodizel ima mnogo prednosti pred naftnimi dizli, kot so obnovljivost, biorazgradljivost, boljše emisije izpušnih plinov in mazljivost. Vendar pa ne more biti ekonomsko konkurenčen naftnim dizlom, ker se običajno proizvaja iz visokokvalitetnih dragih surovin. Problem visokega stroška se lahko ublaži z uporabo nizko cenovnih surovin, kot so odpadna olja za cvrtje. Dodatno k ekonomskim prednostim, uporaba odpadnih olj za cvrtje za proizvodnjo biodizla preprečuje tudi nevarne učinke na okolje (Sanli s sod., 2013).

### 3 MATERIAL IN METODE DELA

#### 3.1 OPREDELITEV NALOGE

Na termooksidativno stabilnost rastlinskih olj med cvrtjem in sprejemljivost ocvrtega krompirčka pri potrošnikih vplivajo različni dejavniki, kot so: vrsta olja, temperatura cvrtja, čas cvrtja, dodatek antioksidantov, vrsta cvrtega živila, filtriranje. Zaradi strogih prehranskih priporočil se kontroli olj med cvrtjem namenja vse več pozornosti.

Cilj naloge je s pomočjo kemijskih, fizikalnih in senzorično ovrednotenih parametrov določiti, kateri antioksidanti so najbolj primerni za zaščito izbranih rastlinskih olj pred termooksidativnimi spremembami med cvrtjem in posredno tudi za zaščito ocvrtega krompirčka. Izbrani parametri morajo biti v čim tesnejši povezavi s količino polarnih spojin.

#### 3.2 MATERIAL ZA ANALIZE

Za cvrtje smo uporabili tri vrste olje: repično, sončnično in sojino, proizvajalca Gea d.d. iz Slovenske Bistrice.

**Preglednica 17** Maščobnokislinska sestava olj (Gea, 2011a; Gea, 2011b, Gea, 2011c)

**Table 17** Fatty acid composition of oils (Gea, 2011a; Gea, 2011b; Gea, 2011c)

Maščobna kislina	Repično olje	Sončnično olje	Sojino olje
C14:0 (miristinska)	0,05 %	0,05 %	
C16:0 (palmitinska)	3,7 %	5,7 %	11,2 %
C16:1 (palmitoleinska)	0,3 %	0,2 %	0,1 %
C18:0 (stearinska)	1,4 %	4,2 %	3,5 %
C18:1 (oleinska)	62 %	25 %	23 %
C18:2 (linolna)	18 %	62 %	51 %
C18:3 (linolenska)	11 %	0,5 %	8 %
C20:0 (arahidinska)	0,8 %	0,1 %	0,3 %
C20:1 (eikozanojska)	0,7 %	0,1 %	0,4 %
C22:0 (behenska)	0,4 %	0,8 %	0,4 %
C22:1 (eruka)	1,0 %	0,1 %	0,1 %

Relativno stabilnost posameznega olja (preglednica 18) smo izračunali s pomočjo preglednic 3, 4 in 17.

**Preglednica 18** Relativna stabilnost olj za cvrtje

**Table 18** Inherent stability of frying oils

Olje	Relativna stabilnost
repično	5,17
sončnično	6,68
sojino	7,33

V olju smo cvrli zamrznjen predocvrt krompirček, proizvajalca Tuš d.d. v šaržnem trilitrskem cvrtniku iz nerjavnega jekla, model HD6161, proizvajalca Philips. Ekstrakte rožmarina smo pridobili v podjetju Vitiva d.d., Markovci, Slovenija. BHA in TBHQ sta bila analitske kakovosti proizvajalca Merck, Darmstadt, Nemčija. Komercialno dostopne mešane tokoferole (90 %) smo pridobili od proizvajalca Xinguang Technology Co. Ltd., Kitajska. CITREM pod komercialnim imenom LAMEGIN ZE 618 smo pridobili od proizvajalca Cognis GmbH.

**Preglednica 19** Sestava komercialno dostopnih ekstraktov rožmarina (specifikacije v Prilogah A, B, C)

**Table 19** Composition of commercially available rosemary extracts (specifications in Appendix A, B, C)

Ekstrakt – komercialno ime	Karnozolna kislina (%)	Karnozol (%)	Dodatna sestavina	Nosilec
INOLENS 4 (301779)	4,0	0,9		olja
SyneROX 4 (302002)	4,1	0,8	mešani tokoferoli	olja
SyneROX HT (302144)	4,0	1,0	CITREM (citratri estri mono- in digliceridov maščobnih kislin)	olja

### 3.2.1 Priprava vzorcev

**Preglednica 20** Oznaka vzorcev olj za cvrtje in ocvrtega krompirčka ter količina in vrsta dodanega antioksidanta

**Table 20** Oil and fried potato samples labelling and the amount and type of antioxidant added

Oznaka vzorca	Dodan antioksidant	Poimenovanje v razlagi rezultatov
A	brez – kontrolni vzorec	kontrola
B	200 mg/kg BHA	BHA
C	200 mg/kg TBHQ	TBHQ
D	1000 mg/kg mešanih tokoferolov	tokoferoli
E	1000 mg/kg INOLENS 4 (301779)	rožmarinov ekstrakt
F	1000 mg/kg SyneROX 4 (302002)	rožmarinov ekstrakt s tokoferoli
G	1000 mg/kg SyneROX HT (302144)	rožmarinov ekstrakt s CITREM-om

### 3.3 NAČRT POSKUSA

V cvrtnik smo dali 2,5 L olja brez ali z dodatkom antioksidantov. Za vsak cikel cvrtja smo olje segreli na 180 °C in dodali 250 g zamrznjenega predocvrtega krompirčka, ki smo ga cvrli 5 minut, cvrtnika med cvrtjem nismo pokrivali. Po vsakem ciklu cvrtja smo pustili, da se olje ohladi na sobno temperaturo. Ocvrli smo dve šarži dnevno. Svežega olja nismo dodajali. Po vsakem drugem cvrtju smo odvzeli vzorec olja in vzorec ocvrtega krompirčka za analizo. Olje je potrebovalo 20 minut časa, da se je segrelo na 180 °C.

Vzorci olja in ocvrtega krompirčka smo po cvrtju ohladili in pakirali v embalažo, preprihano z dušikom in hranili na temperaturi -20 °C do analize. Pred analizo smo vzorce odtalili v hladilniku, razen za določanje akrilamida, kjer smo uporabili zamrznjene vzorce. Za senzorično analizo smo ocenjevali vzorce takoj po končanem cvrtju.

Olja smo cvrli tako dolgo, da je vsebnost polarnih spojin pri najboljšem vzorcu dosegla vrednost 25 %.

Tudi na svežih oljih brez ali z dodatkom antioksidantov in zamrznjenem predocvrtem krompirčku smo izvedli kemijske, instrumentalne in senzorične analize.

Vsebnost akrilamida smo določali samo v krompirčku, ocvrtem v sončničnem olju.

Vse podatke kemijskih, senzoričnih in instrumentalnih analiz smo statistično obdelali ter tako ovrednotili vpliv olja in ocvrtega krompirčka na te parametre. Prav tako smo ovrednotili tesnost povezav med ocenjevanimi in merjenimi parametri v poskusu.

### 3.4 METODE DELA

#### 3.4.1 Analize olj za cvrtje

##### 3.4.1.1 Določanje polarnih spojin

Merjenje polarnih spojin v olju z oljnim senzorjem predstavlja hitrejšo metodo od kolonske kromatografije.

Delež polarnih spojin smo merili s pomočjo aparata Testo 270. Aparat neposredno meri delež polarnih spojin v olju pri temperaturah olja od 40 °C do 210 °C. Raziskovalci so potrdili visoko korelacijo med dielektrično konstanto in deležem polarnih spojin, določenih z metodo, predpisano po AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (Wegmüller, 1994; Wegmüller, 1998).

Pred samim merjenjem je priporočljivo umeriti senzor z referenčnim oljem (Testo 270..., 2011).

Vzorec referenčnega olja, ki je priložen merilniku, smo termostatirali do temperature 60 °C, vanj potopili senzor in umerili instrument na specificirano vrednost referenčnega olja, ki znaša 4 % polarnih spojin.

Vzorci rastlinskih olj smo vzeli iz zamrzovalnika, jih segreti na 60 °C ter določili delež polarnih spojin. Meritve polarnih spojin smo izvedli v treh ponovitvah.

Bansal in sod. (2010b) so s poskusi ugotovili, da korelacijski koeficienti med določanjem polarnih spojin z aparatom Testo 265 in klasično metodo variirajo med 0,88 in 0,99.

#### 3.4.1.2 Določanje prostih maščobnih kislin

Postopek:

V erlenmajerico smo natehtali 5 g olja. Dodali smo 50 mL zmesi topila etanola in dietil etra (1:1) in pretresli. Nato smo dodali nekaj kapljic raztopine fenolftaleina. Med stresanjem smo titrirali z 0,1 M raztopino KOH ob prisotnosti indikatorja fenolftaleina do preskoka iz brezbarvne v rahlo rožnato obarvanje, obstojno vsaj 10 sekund.

Nevtralizacija zmesi etra in etanola:

Zmes etanola in dietiletra smo nevtralizirali tik pred izvedbo postopka z raztopino KOH ob prisotnosti 0,3 mL fenolftaleina na 100 mL zmesi.

Standardizacija baze – določitev točne koncentracije raztopine KOH:

Ker se koncentracija bazičnega hidroksida zelo hitro spreminja, moramo njegovo točno molarnost določiti tik pred uporabo (titriranje bazičnega hidroksida s HCl ob metiloranžu kot indikatorju). Faktor smo izračunali po naslednji formuli:

$$f = \frac{C_{KOH}^{dejanska}}{C_{KOH}^{nazivna}} \quad \dots 16$$

Izračun:

Delež prostih maščobnih kislin (PMK) – izražen kot % oleinske kisline

$$\% \text{ PMK} = \frac{10 \cdot b \cdot f \cdot 0,282}{a} \quad \dots 17$$

kjer je:

*a*- natehta maščobe (g)

*b*- poraba 0,1 M raztopine KOH (mL)

Reagenti:

- etanol:dietileter, 1:1 (v:v)
- fenolftalein
- KOH 0,1 molarna
- HCl
- metiloranž

#### Material:

- erlenmajerice 100 mL
- merilni valji 50 mL
- steklena kapalka
- merilni valji
- steklene čaše

#### Aparature:

- analitska tehtnico s točnostjo  $\pm 0,005$  g,
- titrator

#### 3.4.1.3 Določanje konjugiranih dienov in trienov

Metoda za določanje konjugiranih dienov in trienov je povzeta po standardu ISO 3656 (1989). Konjugirani dieni (KD) absorbirajo svetlobo valovne dolžine 232 nm in so pokazatelji primarnih produktov oksidacije. Konjugirane triene (KT) merimo pri valovni dolžini 268 nm in so pokazatelji sekundarnih produktov oksidacije.

6,5  $\mu$ 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.

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

$$E_{1\text{cm}}^{1\%} = \frac{A}{\frac{m_{\text{olja}}}{V_{\text{cikloheksana}}} \cdot 100} \quad \dots 18$$

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:

$$E_{1\text{cm}}^{1\%} = \frac{A}{\frac{m_{\text{olja}}}{V_{\text{cikloheksana}}} \cdot 100} \cdot R_f \quad \dots 19$$

$E_{1\text{cm}}^{1\%}$	..... specifični absorpcijski koeficient (absorbanca pri karakteristični valovni dolžini za 1 % raztopino olja (koncentracija olja = 1 g olja/100 mL raztopine), izmerjena v 1 cm kiveti)
A	..... absorbanca
$m_{\text{olja}}$	..... masa olja (mg)
$V_{\text{cikloheksana}}$	..... volumen cikloheksana (5 mL)
$R_f$	..... faktor razredčitve

Konjugirane diene in triene smo merili pri vsakem vzorcu v treh ponovitvah.



Reagenti:

- cikloheksan

Material:

- epruvete
- pipete

Aparature:

- analitska tehtnico s točnostjo  $\pm 0,005$  g,
- spektrofotometer

#### 3.4.1.4 Določanje barve

Človeško oko zazna vsako barvo kot kombinacijo rdeče, zelene in modre barve. To so izkoristili v tehnične namene in sestavili aparat za merjenje barve – kromameter. Kromameter deluje na principu človeškega očesa. Barvo vzorca razdeli na tri komponente, ki jih poda v določenem koordinatnem sistemu, in poda rezultate v  $L^*$ ,  $a^*$  in  $b^*$  koordinatah.

Za instrumentalno analizo barve olja smo uporabili kromameter Minolta CM-5, ki meri barvo vzorcev po sistemu  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  vrednosti. Merili smo barvo olja po vsakem drugem cvrtju. Uporabljeni kromameter ima na merilni glavi odprtino premera 30 mm in na tej površini izmeri barvo. Aparat smo pred začetkom dela umerili na bel standard. Meritve smo izvedli v treh paralelkah.

$L^*$  vrednost nam pove svetlost vzorca (višja vrednost, svetlejši vzorec),  $a^*$  vrednost pove ali je vzorec bolj rdeč ali bolj zelen (pozitivna vrednost = bolj rdeč, negativna vrednost = bolj zelen) in  $b^*$  vrednost nam pove ali je vzorec bolj rumen ali bolj moder (pozitivna vrednost = bolj rumen, negativna vrednost = bolj moder).

### 3.4.2 Analize ocvrtega krompirčka

#### 3.4.2.1 Določanje vsebnosti malonaldehida s TBA metodo

Za določanje vsebnosti malonaldehida v vzorcih ocvrtega krompirja smo uporabili metodo Tarladgisa in sod. (1960), ki priporoča izvedbo TBA testa z destilacijsko metodo direktno iz živila in ne iz ekstrahirane maščobe, ker s tem zajamemo tudi lipoproteine in fosfolipide iz živila.

10 g vzorca smo dodali 50 mL destilirane vode in v mešalniku mešali 2 minuti. Mešanico smo kvantitativno prenesli v 250 mL bučko z izpiranjem z 47,5 mL destilirane vode. Dodali smo 2,5 mL 4 M HCl, da smo znižali pH na 1,5. Dodali smo nekaj kapljic protipenilca in nekaj zrnč vrelnih kroglic. Vzorec smo segrevali na najvišji temperaturi 10 minut od začetka vrenja, da smo zbrali 50 mL destilata.

5 mL destilata smo odpipetirali v 50 mL epruveto z zamaškom in dodali 5 mL TBA reagenta (0,02 M 2-tiobarbiturna kislina v 90 % ledocetni kislini). Epruveto smo zamašili, vsebino premešali in potopili v vrelo vodo za 35 minut. Za slepi vzorec smo namesto vzorca odpipetirali 5 mL destilirane vode.

Po kuhanju smo vzorce 10 minut hladili pod tekočo vodo in nato izmerili absorbanco vzorca v primerjavi s slepim vzorcem pri valovni dolžini 538 nm. Meritve smo opravili v treh ponovitvah.

Izračun:

$$\text{TBA vrednost (mg malonaldehida /kg vzorca)} = A_{538} \cdot 7,8 \quad \dots 20$$

Reagenti:

- destilirana voda
- HCl 4 M
- ledocetna kislina 90 %
- protipenilec
- 2-tiobarbiturna kislina

Material:

- bučke 250 mL
- merilni valji 50 mL
- pipete
- vrelnе kroglice
- epruvete 50 mL

Aparature:

- analitska tehtnica s točnostjo  $\pm 0,005$  g
- mešalnik
- destilacijska aparatura
- kuhalnik
- spektrofotometer

#### 3.4.2.2 Senzorična analiza

Senzorično ocenjevanje je opravila izkušena petčlanska senzorična komisija podjetja Vitiva d.d., v prostoru za senzorično ocenjevanje.

Ocenjevali smo senzorične lastnosti ocvrtega krompirja. Vsaka lastnost je bila ocenjena s točkovno nestrukturirano lestvico iz skupine deskriptivnih analitičnih preizkusov.

Ocvrt krompir smo ocenjevali takoj po toplotni obdelavi. Ocenjene so bile naslednje senzorične lastnosti:

#### Vonj (1-7 točk)

Ocena 7: značilen, prijeten vonj za ocvrt krompir

Ocena 1: neznačilen vonj, prisotnost tujih arom

#### Barva (1-4-7 točk)

Ocena 7: pretemna barva

Ocena 4: značilna barva ocvrtega krompirja

Ocena 1: svetla barva

#### Žarkost (0-5 točk)

Ocena 5: intenzivna zaznavnost žarkosti

Ocena 0: žarkosti ni zaznati

#### Oljavost (0-5 točk)

Ocena 5: občutek oljavosti v ustih, močno izcejanje maščobe iz živila

Ocena 0: med žvečenjem oljavost ni bila zaznana

#### Skupni vtis (1-7 točk)

Ocena 7: značilen, prijeten vonj za ocvrt krompir, značilna barva ocvrtega krompirčka, ocvrt krompirček ni žarek, oljavost ni zaznana

Ocena 1: neznačilen vonj, prisotnost tujih arom, presvetla ali pretemna barva ocvrtega krompirčka, intenzivna zaznava žarkosti, občutek oljavosti v ustih.

### 3.4.2.3 Določanje vsebnosti akrilamida

Vsebnost akrilamida smo določali po metodi Penga in sod. (2003).

#### Priprava vzorcev:

50 mL destilirane vode smo dodali 10 g fino zmletega zamrznjenega ocvrtega krompirčka in homogenizirali 20 minut. Dekantirano raztopino smo centrifugirali pri 10000 rpm 15 minut. Vzorcju smo dodali interni standard – akrilamid-d3. Supernatant smo nanegli na strata-X-C kolono.

Na strata-X-C kolono smo nanegli 2 x 1 mL metanola in 2 x 1 mL vode pri pretoku 2 mL/minuto. Nato smo dodali 1 mL supernatanta pri pretoku manj kot 0,5 mL/min in sušili v vakuumskem sušilniku 30 minut. Dodali smo 1 mL vode pri pretoku 0,5 mL/min in zbrali eluat v vialo. Vzorec je bil pripravljen za HPLC analizo.

#### Izvedba analizne metode:

V HPLC sistem smo namestili kolono. Kolona ni bila termostatorana, temperatura kolone je bila sobna. Pred prvim injiciranjem vzorca smo kolono spirali z začetno mobilno fazo najmanj 30 min. Najprej smo injicirali standardne raztopine, nadaljevali pa smo z injiciranjem vzorcev. Po končanem delu smo celotni sistem temeljito spirali z mobilno fazo 1 uro. Podatke smo zbirali in obdelovali s programom Star Chromatograph Workstation, Varian chromatograph systems, Version 5.3.

Umeritveno krivuljo smo dobili z dodatkom internih standardov akrilamida in akrilamida d-3 (oba pripravljena v vodi) v različnih koncentracijah v 1 mL supernatanta ocvrtega krompirčka. Dva vzorca brez dodatkov internih standardov sta služila kot slepe probe.

Meritve smo izvedli v treh ponovitvah.

Reagenti:

- destilirana voda
- interni standard akrilamid
- interni standard akrilamid d-3
- metanol

Material:

- kolona Strata X-C
- pipete
- viala
- merilni valji
- steklene čaše

Aparature:

- analitska tehtnica s točnostjo  $\pm 0,005$  g
- centrifuga
- vakuumski sušilnik
- HPLC/UV, Agilent 1100 series

Pogoji:

- kolona Synergi Polar-Rp 4 $\mu$  150 x 3.0 mm
- mobilna faza: 94:6 (v:v) voda:CH<sub>3</sub>CN
- pretok mobilne faze: 0,4 mL/minuto
- volumen injiciranja: 10  $\mu$ L
- tlak na injektorju: 93 bar
- UV/VIS detektor, valovna dolžina 210 nm

### 3.4.3 Statistična analiza

V poskusu zbrane podatke smo pripravili in uredili s programom EXCEL XP. Tako urejene podatke smo statistično obdelali z računalniškim programom SAS (SAS Software. Version 8.01, 1999) s postopkom GLM.

Model za analizo fizikalno-kemijskih parametrov in senzoričnih lastnosti rastlinskih olj je vključeval fiksne vplive, kot so vrsta olja (O; repično, sojino, sončnično), cvrtje (C; 0-26) in vzorec (V; vzorec A, B, C, D, E, F, G), ter interakcije vrsta olja×cvrtje (O×C), vrsta olja×vzorec (O×V), cvrtje×vzorec (C×V), vrsta olja×cvrtje×vzorec (O×C×V):

$$y_{ijkl} = \mu + O_i + C_j + V_k + O \times C_{ij} + O \times V_{ik} + C \times V_{jk} + O \times C \times V_{ijk} + e_{ijkl} \quad (\text{model 1})$$

Srednje vrednosti za eksperimentalne skupine so bile izračunane z Duncanovim testom in primerjane pri 5 % tveganju. Pearsonovi korelacijski koeficienti med parametri in lastnostmi rastlinskih olj so bili izračunani s postopkom CORR (SAS Software. Version 8.01, 1999).

## 4 REZULTATI

### 4.1 ANALIZE REPIČNEGA OLJA IN KROMPIRČKA, OCVRTEGA V REPIČNEM OLJU

**Preglednica 21** Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre repičnega olja in krompirčka ocvrtega v repičnem olju

**Table 21** Basic statistical parameters of instrumental, chemical and sensory parameters of rapeseed oil and potato fried in rapeseed oil

Parameter oz. lastnost	n	$\bar{x}$	min	max	s.o.	KV (%)
<b>olja</b>						
polarne spojine (%)	294	18,21	6,00	39,00	9,00	49
proste maščobne kisline (%)	294	0,45	0,04	1,12	0,32	72
konjugirani dieni	294	5,86	2,55	10,68	2,40	41
konjugirani trieni	294	5,13	2,74	9,52	1,67	33
L*	294	63,96	8,26	96,83	18,63	29
a*	294	-4,66	-6,97	-1,80	1,33	-29
b*	294	22,60	9,26	38,55	8,48	38
<b>ocvrt krompirček</b>						
TBA vrednost (mg/kg)	294	1,08	0,20	2,72	0,54	50
vonj (1-7 točk)	490	5,51	1,00	7,00	1,68	30
barva (1-4-7 točk)	490	4,58	1,00	7,00	1,37	30
žarkost (0-5 točk)	490	1,36	0,00	5,00	1,39	102
oljavost (0-5 točk)	490	0,48	0,00	3,00	0,79	166
skupni vtis (1-7 točk)	490	5,89	2,00	7,00	1,16	20

n - število obravnavanj;  $\bar{x}$  - povprečna vrednost; min – minimalna vrednost; max – maksimalna vrednost; s.o. – standardni odklon; KV (%) – koeficient variabilnosti

V preglednici 21 so prikazani osnovni statistični parametri. Iz preglednice 21 lahko povzamemo, kateri parametri so v poskusu najbolj variabilni, njihove največje in najmanjše vrednosti ter standardni odklon. Največjo variabilnost rezultatov so pokazali senzorični parametri oljavosti in žarkosti, najmanjšo pa ocena skupnega vtisa ocvrtega krompirčka.

Velika variabilnost rezultatov je posledica velikega števila cvrtij in dodatka različnih antioksidantov (preglednica 22), oboje ima velik vpliv na razgradnjo repičnega olja in ocvrtega krompirčka.

**Preglednica 22** Viri variabilnosti za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre repičnega olja in krompirčka ocvrtega v repičnem olju

**Table 22** Sources of variability of instrumental, chemical and sensory parameters of rapeseed oil and potato fried in rapeseed oil

parameter	vir variabilnosti (p-vrednost)		
	cvrtje	vzorec	cvrtje x vzorec
<b>olja</b>			
polarne spojine (%)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
proste maščobne kisline (%)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
konjugirani dieni	< 0,001	< 0,001	< 0,001
konjugirani trieni	< 0,001	< 0,001	< 0,001
L*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
a*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
b*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<b>ocvrt krompirček</b>			
vsebnost malonaldehida (mg/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
vonj (1-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
barva (1-4-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
žarkost (0-5 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
oljavost (0-5 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
skupni vtis (1-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001

p≤0,001 statistično zelo visoko značilen vpliv; p≤0,01 statistično visoko značilen vpliv; p≤0,05 statistično značilen vpliv; p>0,05 statistično neznačilen vpliv.

#### 4.1.1 Določanje deleža polarnih spojin v repičnem olju

Rezultati merjenja deleža polarnih spojin vzorcev repičnega olja med cvrtjem so prikazani v preglednici 23.

Rezultati kažejo, da delež polarnih spojin statistično značilno ( $P < 0,05$ ) narašča s številom cvrtij. Delež polarnih spojin je pred začetkom postopka cvrtja v vseh vzorcih enak ( $6,00 \pm 0,01\%$ ). Vzorec G (rožmarinov ekstrakt s CITREM-om) doseže mejo 25 % polarnih spojin šele po 26. cvrtju, medtem, ko vzorec A (kontrolni vzorec) doseže enak delež polarnih spojin že po 14. cvrtju, po 26. cvrtju pa celo 39 %.

**Preglednica 23**

**Delež polarnih spojin (%) v repičnem olju med cvrtjem**

**Table 23**

**The amount of polar compounds (%) in rapeseed oil during frying**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	6,00±0,00 <sup>aN</sup>	6,00±0,00 <sup>aN</sup>	6,00±0,00 <sup>aN</sup>	6,00±0,00 <sup>aN</sup>	6,00±0,00 <sup>aN</sup>	6,00±0,00 <sup>aN</sup>	6,00±0,00 <sup>aN</sup>
2	8,50±0,00 <sup>aM</sup>	7,50±0,00 <sup>bM</sup>	7,00±0,00 <sup>cM</sup>	7,00±0,00 <sup>cM</sup>	6,50±0,00 <sup>dM</sup>	6,50±0,00 <sup>dM</sup>	6,50±0,00 <sup>dM</sup>
4	10,00±0,00 <sup>aL</sup>	9,33±0,29 <sup>bL</sup>	9,50±0,00 <sup>bL</sup>	9,00±0,00 <sup>cL</sup>	8,50±0,00 <sup>dL</sup>	8,50±0,00 <sup>dL</sup>	8,00±0,00 <sup>eL</sup>
6	13,17±0,29 <sup>aK</sup>	12,00±0,00 <sup>bK</sup>	11,00±0,00 <sup>cK</sup>	10,50±0,00 <sup>dK</sup>	10,00±0,00 <sup>eK</sup>	10,00±0,00 <sup>eK</sup>	9,50±0,00 <sup>fK</sup>
8	16,00±0,00 <sup>aJ</sup>	14,17±0,29 <sup>bJ</sup>	13,00±0,00 <sup>cJ</sup>	12,00±0,00 <sup>dJ</sup>	11,50±0,00 <sup>eJ</sup>	11,00±0,00 <sup>fJ</sup>	10,33±0,29 <sup>gJ</sup>
10	18,50±0,00 <sup>aI</sup>	16,00±0,00 <sup>bI</sup>	15,50±0,00 <sup>cI</sup>	14,33±0,29 <sup>dI</sup>	13,50±0,00 <sup>eI</sup>	12,83±0,29 <sup>fI</sup>	12,00±0,00 <sup>gI</sup>
12	22,33±0,29 <sup>aH</sup>	19,50±0,00 <sup>bH</sup>	18,17±0,29 <sup>cH</sup>	15,50±0,00 <sup>dH</sup>	15,00±0,00 <sup>eH</sup>	14,00±0,00 <sup>fH</sup>	13,00±0,00 <sup>gH</sup>
14	25,00±0,00 <sup>aG</sup>	22,50±0,00 <sup>bG</sup>	20,50±0,00 <sup>cG</sup>	17,50±0,00 <sup>dG</sup>	16,17±0,29 <sup>eG</sup>	15,50±0,00 <sup>fG</sup>	14,50±0,00 <sup>gG</sup>
16	28,50±0,00 <sup>aF</sup>	25,00±0,00 <sup>bF</sup>	23,50±0,00 <sup>cF</sup>	18,50±0,00 <sup>dF</sup>	17,00±0,00 <sup>eF</sup>	16,50±0,00 <sup>fF</sup>	16,00±0,00 <sup>gF</sup>
18	30,83±0,29 <sup>aE</sup>	28,00±0,00 <sup>bE</sup>	25,00±0,00 <sup>cE</sup>	22,00±0,00 <sup>dE</sup>	19,50±0,00 <sup>eE</sup>	18,50±0,00 <sup>fE</sup>	17,50±0,00 <sup>gE</sup>
20	33,50±0,00 <sup>aD</sup>	31,00±0,00 <sup>bD</sup>	27,50±0,00 <sup>cD</sup>	24,50±0,00 <sup>dD</sup>	22,00±0,00 <sup>eD</sup>	21,50±0,00 <sup>fD</sup>	20,00±0,00 <sup>gD</sup>
22	36,00±0,00 <sup>aC</sup>	33,17±0,29 <sup>bC</sup>	31,00±0,00 <sup>cC</sup>	27,00±0,00 <sup>dC</sup>	24,00±0,00 <sup>eC</sup>	23,00±0,00 <sup>fC</sup>	21,50±0,00 <sup>gC</sup>
24	37,50±0,00 <sup>aB</sup>	35,50±0,00 <sup>bB</sup>	33,50±0,00 <sup>cB</sup>	28,33±0,29 <sup>dB</sup>	26,00±0,00 <sup>eB</sup>	24,50±0,00 <sup>fB</sup>	23,00±0,00 <sup>gB</sup>
26	39,00±0,00 <sup>aA</sup>	37,00±0,00 <sup>bA</sup>	35,00±0,00 <sup>cA</sup>	30,00±0,00 <sup>dA</sup>	28,50±0,00 <sup>eA</sup>	27,00±0,00 <sup>fA</sup>	25,00±0,00 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Glede na rezultate nastanka polarnih spojin po 26. cvrtju, vzorec G za 1,9 x podaljša obstojnost olja v primerjavi z vzorcem A; 1,6 x v primerjavi z vzorcem B; 1,4 x v primerjavi z vzorcem C; 1,3 x v primerjavi z vzorcem D; 1,2 x v primerjavi z vzorcem E in 1,1 x v primerjavi z vzorcem F. Rožmarinov ekstrakt brez dodatkov (E) doseže mejo 25 % polarnih spojin med 22. in 24. cvrtjem in tako izboljša stabilnost olja v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A) 1,8 krat. Sintetična antioksidanta (B in C) nudita le 1,1 do 1,3 x boljšo zaščito repičnemu olju pred nastankom polarnih spojin v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A).

#### 4.1.2 Določanje deleža prostih maščobnih kislin v repičnem olju

Spremembe v deležu nastalih prostih maščobnih kislin so prikazane v preglednici 24.

Delež prostih maščobnih kislin v vseh vzorcih narašča s številom cvrtij iz začetnih vrednosti od 0,04±0,01% oz. 0,06±0,01% do končnih vrednosti 0,62±0,02% v vzorcu G oz. 1,10±0,02% v vzorcu A. Največje spremembe v nastanku prostih maščobnih kislin so zaznane v kontrolnem vzorcu (A), sledijo vzorci z dodanimi sintetičnimi antioksidanti (B in C), najmanjše spremembe pa so zaznane v vzorcih z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F, G), kar pomeni, da naravni antioksidanti uspešno ščitijo repično olje pred hidrolitsko razgradnjo.



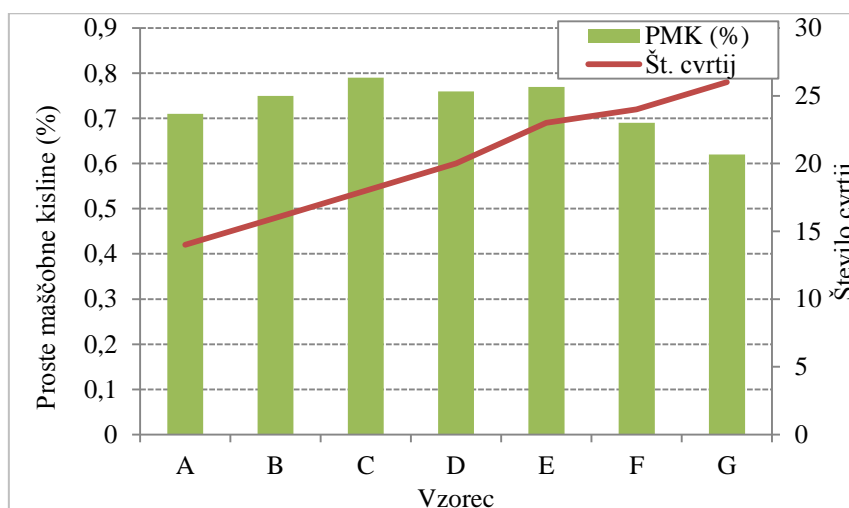
**Preglednica 24** Delež prostih maščobnih kislin (%) v repičnem olju med cvrtjem  
**Table 24** The amount of free fatty acids (%) in rapeseed oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,06±0,01 <sup>abM</sup>	0,05±0,01 <sup>bN</sup>	0,05±0,01 <sup>abM</sup>	0,06±0,01 <sup>aL</sup>	0,05±0,01 <sup>abL</sup>	0,05±0,01 <sup>bK</sup>	0,04±0,01 <sup>bL</sup>
2	0,10±0,02 <sup>aL</sup>	0,09±0,00 <sup>abM</sup>	0,10±0,01 <sup>aL</sup>	0,07±0,01 <sup>bcL</sup>	0,07±0,02 <sup>cL</sup>	0,07±0,01 <sup>cK</sup>	0,06±0,02 <sup>cL</sup>
4	0,14±0,02 <sup>aK</sup>	0,13±0,01 <sup>aL</sup>	0,10±0,01 <sup>bL</sup>	0,10±0,01 <sup>bK</sup>	0,10±0,01 <sup>bK</sup>	0,10±0,01 <sup>bJ</sup>	0,09±0,01 <sup>bK</sup>
6	0,21±0,02 <sup>aJ</sup>	0,17±0,01 <sup>bK</sup>	0,14±0,02 <sup>cK</sup>	0,12±0,01 <sup>cdK</sup>	0,12±0,02 <sup>cdeK</sup>	0,11±0,01 <sup>deJ</sup>	0,10±0,01 <sup>eJK</sup>
8	0,35±0,02 <sup>aI</sup>	0,25±0,02 <sup>bJ</sup>	0,23±0,01 <sup>cJ</sup>	0,20±0,00 <sup>dJ</sup>	0,17±0,02 <sup>eJ</sup>	0,14±0,03 <sup>fI</sup>	0,12±0,01 <sup>fJ</sup>
10	0,48±0,03 <sup>aH</sup>	0,36±0,01 <sup>bI</sup>	0,30±0,01 <sup>cI</sup>	0,28±0,01 <sup>cI</sup>	0,23±0,02 <sup>dI</sup>	0,21±0,01 <sup>dH</sup>	0,15±0,02 <sup>eI</sup>
12	0,57±0,02 <sup>aG</sup>	0,46±0,02 <sup>bH</sup>	0,40±0,02 <sup>cH</sup>	0,33±0,02 <sup>dH</sup>	0,30±0,01 <sup>eH</sup>	0,27±0,02 <sup>eG</sup>	0,21±0,01 <sup>fH</sup>
14	0,71±0,03 <sup>aF</sup>	0,60±0,02 <sup>bG</sup>	0,53±0,02 <sup>cG</sup>	0,47±0,01 <sup>dG</sup>	0,41±0,01 <sup>eG</sup>	0,36±0,02 <sup>fF</sup>	0,26±0,02 <sup>gG</sup>
16	0,84±0,02 <sup>aE</sup>	0,75±0,02 <sup>bF</sup>	0,69±0,01 <sup>cF</sup>	0,59±0,01 <sup>dF</sup>	0,51±0,01 <sup>eF</sup>	0,45±0,02 <sup>fE</sup>	0,36±0,03 <sup>gF</sup>
18	0,90±0,02 <sup>aD</sup>	0,84±0,01 <sup>bE</sup>	0,79±0,02 <sup>cE</sup>	0,68±0,01 <sup>dE</sup>	0,59±0,03 <sup>eE</sup>	0,52±0,01 <sup>fD</sup>	0,41±0,02 <sup>gE</sup>
20	0,95±0,01 <sup>aC</sup>	0,92±0,01 <sup>bD</sup>	0,88±0,02 <sup>cD</sup>	0,76±0,00 <sup>dD</sup>	0,66±0,01 <sup>eD</sup>	0,58±0,03 <sup>fC</sup>	0,46±0,02 <sup>gD</sup>
22	1,01±0,01 <sup>aB</sup>	0,97±0,01 <sup>bC</sup>	0,92±0,02 <sup>cC</sup>	0,82±0,02 <sup>dC</sup>	0,73±0,02 <sup>eC</sup>	0,64±0,02 <sup>fB</sup>	0,52±0,02 <sup>gC</sup>
24	1,08±0,02 <sup>aA</sup>	1,03±0,02 <sup>bB</sup>	0,96±0,02 <sup>cB</sup>	0,87±0,03 <sup>dB</sup>	0,80±0,01 <sup>eB</sup>	0,69±0,02 <sup>fA</sup>	0,57±0,01 <sup>gB</sup>
26	1,10±0,02 <sup>aA</sup>	1,05±0,01 <sup>bA</sup>	1,00±0,01 <sup>cA</sup>	0,93±0,02 <sup>dA</sup>	0,82±0,01 <sup>eA</sup>	0,70±0,01 <sup>fA</sup>	0,62±0,02 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Najboljša zaščita je dosežena z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F in G), ki statistično značilno ( $p < 0,05$ ) zmanjšajo delež prostih maščobnih kislin med cvrtjem v primerjavi z ostalimi vzorci.



**Slika 14** Delež prostih maščobnih kislin (PMK) v vzorcih repičnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 14** The amount of free fatty acids in rapeseed oil samples, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Primerjava rezultatov glede na dosežen 25 % delež polarnih spojin (slika 14) ob različnih številih cvrtij za posamezen vzorec, nam pokaže, da je v vzorcih z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B in C) in v vzorcih z dodatkom naravnih antioksidantov (D in E) celo nekoliko več prostih maščobnih kislin, kot v kontrolnem vzorcu (A); vzorca F in G sta edina, ki vsebujeta manj prostih maščobnih kislin v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A), čeprav sta bila podvržena večjemu številu cvrtij.

#### 4.1.3 Določanje vsebnosti konjugiranih dienov in trienov v repičnem olju

V preglednici 25 so prikazani rezultati specifičnega absorpcijskega koeficienta ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 232 nm, ki merijo vsebnost konjugiranih dienov in s tem stopnjo primarne oksidacije. Vsebnost konjugiranih dienov s številom cvrtij statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča, tudi razlike med vzorci so ves čas cvrtja statistično značilne ( $p < 0,05$ ). Vsebnosti konjugiranih dienov vzorcev olja z dodanimi antioksidanti (B, C, D, E, F in G) so ves čas cvrtja statistično značilno ( $p < 0,05$ ) nižje od kontrolnega vzorca (A). Kontrolni vzorec (A) po 26. cvrtjih vsebuje skoraj 50 % več konjugiranih dienov v primerjavi z najboljšim vzorcem repičnega olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

**Preglednica 25** Specifični absorpcijski koeficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 232 nm v repičnem olju med cvrtjem

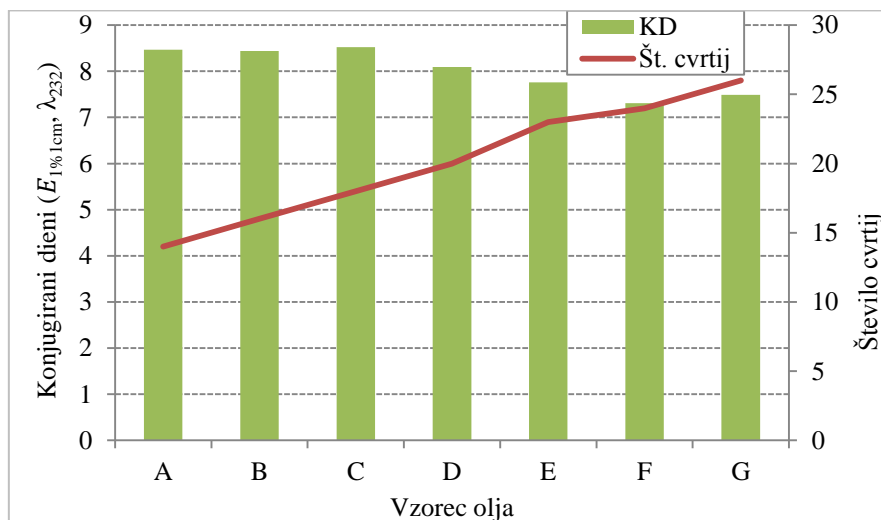
**Table 25** Specific absorption coefficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) at 232 nm in rapeseed oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	2,56±0,01 <sup>dN</sup>	2,59±0,02 <sup>cN</sup>	2,61±0,02 <sup>cN</sup>	2,61±0,01 <sup>cN</sup>	2,66±0,01 <sup>bN</sup>	2,68±0,01 <sup>aN</sup>	2,69±0,01 <sup>aN</sup>
2	3,16±0,02 <sup>aM</sup>	3,07±0,01 <sup>bM</sup>	2,91±0,00 <sup>cM</sup>	2,86±0,01 <sup>dM</sup>	2,81±0,01 <sup>eM</sup>	2,76±0,01 <sup>fM</sup>	2,80±0,02 <sup>eM</sup>
4	3,84±0,02 <sup>aL</sup>	3,61±0,02 <sup>bL</sup>	3,34±0,01 <sup>cL</sup>	3,17±0,02 <sup>dL</sup>	2,96±0,02 <sup>eL</sup>	2,87±0,01 <sup>fL</sup>	2,91±0,01 <sup>fL</sup>
6	4,61±0,02 <sup>aK</sup>	4,32±0,02 <sup>bK</sup>	3,93±0,02 <sup>cK</sup>	3,58±0,01 <sup>dK</sup>	3,25±0,01 <sup>eK</sup>	3,09±0,01 <sup>fK</sup>	3,03±0,02 <sup>gK</sup>
8	5,49±0,01 <sup>aJ</sup>	5,16±0,01 <sup>bJ</sup>	4,66±0,01 <sup>cJ</sup>	4,28±0,01 <sup>dJ</sup>	3,86±0,02 <sup>eJ</sup>	3,65±0,01 <sup>fJ</sup>	3,51±0,00 <sup>gJ</sup>
10	6,60±0,02 <sup>aI</sup>	5,97±0,03 <sup>bI</sup>	5,29±0,02 <sup>cI</sup>	4,82±0,01 <sup>dI</sup>	4,27±0,02 <sup>eI</sup>	3,90±0,02 <sup>fI</sup>	3,70±0,01 <sup>gI</sup>
12	7,47±0,01 <sup>aH</sup>	7,01±0,01 <sup>bH</sup>	6,22±0,02 <sup>cH</sup>	5,64±0,02 <sup>dH</sup>	4,82±0,01 <sup>eH</sup>	4,45±0,02 <sup>fH</sup>	4,08±0,04 <sup>gH</sup>
14	8,47±0,05 <sup>aG</sup>	7,95±0,01 <sup>bG</sup>	7,26±0,03 <sup>cG</sup>	6,47±0,01 <sup>dG</sup>	5,50±0,02 <sup>eG</sup>	4,81±0,02 <sup>fG</sup>	4,35±0,01 <sup>gG</sup>
16	8,99±0,03 <sup>aF</sup>	8,44±0,03 <sup>bF</sup>	7,88±0,01 <sup>cF</sup>	7,15±0,02 <sup>dF</sup>	6,33±0,02 <sup>eF</sup>	5,49±0,01 <sup>fF</sup>	4,80±0,03 <sup>gF</sup>
18	9,70±0,02 <sup>aE</sup>	9,17±0,03 <sup>bE</sup>	8,52±0,03 <sup>cE</sup>	7,85±0,02 <sup>dE</sup>	7,04±0,02 <sup>eE</sup>	6,24±0,02 <sup>fE</sup>	5,30±0,02 <sup>gE</sup>
20	9,98±0,01 <sup>aD</sup>	9,23±0,02 <sup>bD</sup>	8,68±0,03 <sup>cD</sup>	8,09±0,02 <sup>dD</sup>	7,22±0,02 <sup>eD</sup>	6,64±0,02 <sup>fD</sup>	5,91±0,03 <sup>gD</sup>
22	10,19±0,02 <sup>aC</sup>	9,39±0,02 <sup>bC</sup>	8,80±0,02 <sup>cC</sup>	8,31±0,03 <sup>dC</sup>	7,67±0,02 <sup>eC</sup>	7,13±0,02 <sup>fC</sup>	6,60±0,02 <sup>gC</sup>
24	10,46±0,01 <sup>aB</sup>	9,55±0,02 <sup>bB</sup>	9,01±0,01 <sup>cB</sup>	8,45±0,02 <sup>dB</sup>	7,86±0,02 <sup>eB</sup>	7,31±0,01 <sup>fB</sup>	6,93±0,02 <sup>gB</sup>
26	10,66±0,02 <sup>aA</sup>	9,81±0,02 <sup>bA</sup>	9,31±0,00 <sup>cA</sup>	8,58±0,01 <sup>dA</sup>	8,11±0,03 <sup>eA</sup>	7,49±0,01 <sup>fA</sup>	7,16±0,01 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

S primerjavo rezultatov vsebnosti konjugiranih dienov s številom cvrtij, ko je dosežen delež polarnih spojin 25 % (slika 15), ugotovimo, da se v vzorcih z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F in G) tvori od 5 do 18 % manj konjugiranih dienov v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A).



**Slika 15** Vsebnost konjugiranih dienov (KD) v vzorcih repičnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 15** The amount of conjugated dienes in rapeseed oil samples, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Spremembe v specifičnem absorpcijskem koeficientu ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 268 nm, ki označuje nastanek konjugiranih trienov, so prikazane v preglednici 26.

Vsebnost konjugiranih trienov postopoma narašča s številom cvrtij, vendar hitreje v kontrolnem vzorcu (A), v vzorcih z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B in C) in vzorcem z dodatkom tokoferolov (D) v primerjavi z vzorci olja z dodanimi rožmarinovimi ekstrakti (E, F, G).

V vzorcih z dodanimi rožmarinovimi ekstrakti konjugirani trieni občutno počasneje naraščajo s številom cvrtij. Po 26. cvrtju je v vzorcu A 2,22 x več, v vzorcu B 1,91 x več, v vzorcu C 1,82 x več, v vzorcu D 1,55 x več, v vzorcu E 1,14 x več in v vzorcu F 1,04 x več konjugiranih trienov v primerjavi z vzorcem G. Razlike med vzorci so statistično značilne ( $p < 0,05$ ).

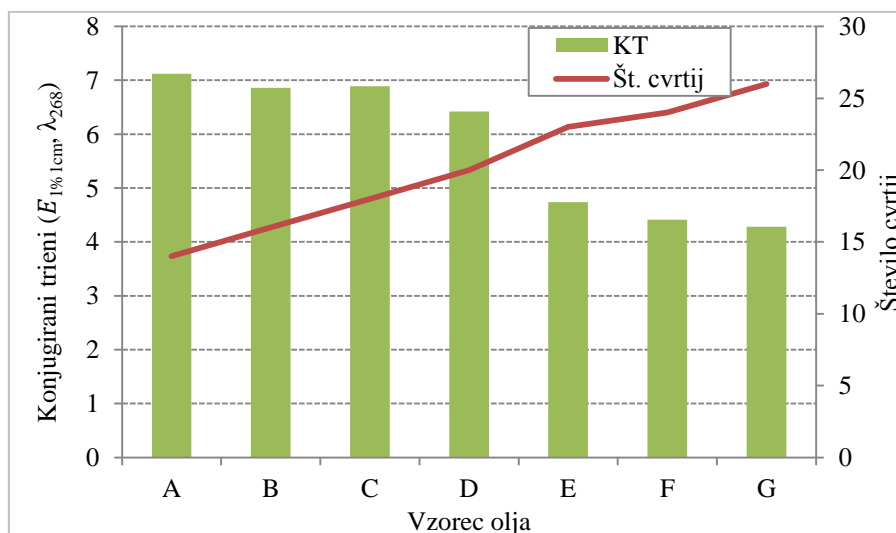
**Preglednica 26** Specifični absorpcijski koeficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 268 nm v repičnem olju med cvrtjem

**Table 26** Specific absorption coefficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) at 268 nm in rapeseed oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	2,86±0,02 <sup>aN</sup>	2,84±0,01 <sup>aN</sup>	2,86±0,02 <sup>aN</sup>	2,80±0,01 <sup>bN</sup>	2,76±0,02 <sup>cN</sup>	2,75±0,01 <sup>cN</sup>	2,75±0,02 <sup>cM</sup>
2	4,12±0,01 <sup>aM</sup>	3,51±0,01 <sup>bM</sup>	3,53±0,02 <sup>bM</sup>	3,32±0,02 <sup>cM</sup>	3,16±0,01 <sup>dM</sup>	3,17±0,01 <sup>dM</sup>	3,13±0,02 <sup>eL</sup>
4	4,87±0,01 <sup>aL</sup>	3,99±0,03 <sup>bL</sup>	3,85±0,01 <sup>cL</sup>	3,69±0,01 <sup>dL</sup>	3,56±0,02 <sup>eL</sup>	3,54±0,02 <sup>fL</sup>	3,43±0,01 <sup>gK</sup>
6	5,79±0,01 <sup>aK</sup>	4,60±0,02 <sup>bK</sup>	4,63±0,02 <sup>cK</sup>	4,43±0,02 <sup>dK</sup>	3,88±0,01 <sup>eK</sup>	3,83±0,01 <sup>fK</sup>	3,70±0,02 <sup>gJ</sup>
8	5,92±0,01 <sup>aJ</sup>	5,12±0,02 <sup>bJ</sup>	5,16±0,02 <sup>cJ</sup>	4,89±0,01 <sup>dJ</sup>	3,93±0,01 <sup>eJ</sup>	3,93±0,02 <sup>fJ</sup>	3,73±0,01 <sup>fI</sup>
10	6,33±0,01 <sup>aI</sup>	5,63±0,01 <sup>bI</sup>	5,52±0,02 <sup>cI</sup>	5,21±0,01 <sup>dI</sup>	4,07±0,02 <sup>eI</sup>	4,04±0,02 <sup>fI</sup>	3,95±0,01 <sup>gD</sup>
12	6,95±0,02 <sup>aH</sup>	6,16±0,01 <sup>bH</sup>	6,03±0,02 <sup>cH</sup>	5,75±0,01 <sup>dH</sup>	4,24±0,02 <sup>eH</sup>	4,12±0,00 <sup>fH</sup>	3,98±0,01 <sup>gG</sup>
14	7,12±0,02 <sup>aG</sup>	6,67±0,02 <sup>bG</sup>	6,50±0,02 <sup>cG</sup>	6,02±0,02 <sup>dG</sup>	4,37±0,02 <sup>eG</sup>	4,23±0,01 <sup>fG</sup>	4,07±0,02 <sup>gF</sup>
16	7,50±0,02 <sup>aF</sup>	6,86±0,01 <sup>bF</sup>	6,68±0,01 <sup>cF</sup>	6,22±0,01 <sup>dF</sup>	4,40±0,02 <sup>eF</sup>	4,28±0,03 <sup>fF</sup>	4,10±0,02 <sup>gE</sup>
18	7,91±0,03 <sup>aE</sup>	7,01±0,02 <sup>bE</sup>	6,89±0,02 <sup>cE</sup>	6,38±0,01 <sup>dE</sup>	4,50±0,01 <sup>eE</sup>	4,33±0,02 <sup>fE</sup>	4,16±0,01 <sup>gD</sup>
20	8,34±0,01 <sup>aD</sup>	7,30±0,02 <sup>bD</sup>	7,14±0,02 <sup>cD</sup>	6,42±0,01 <sup>dD</sup>	4,67±0,01 <sup>eD</sup>	4,35±0,01 <sup>fD</sup>	4,17±0,01 <sup>gCD</sup>
22	8,82±0,01 <sup>aC</sup>	7,73±0,01 <sup>bC</sup>	7,44±0,02 <sup>cC</sup>	6,45±0,01 <sup>dC</sup>	4,72±0,01 <sup>eC</sup>	4,39±0,01 <sup>fC</sup>	4,19±0,01 <sup>gC</sup>
24	9,05±0,02 <sup>aB</sup>	7,97±0,01 <sup>bB</sup>	7,62±0,01 <sup>cB</sup>	6,56±0,01 <sup>dB</sup>	4,76±0,01 <sup>eB</sup>	4,41±0,01 <sup>fB</sup>	4,22±0,01 <sup>gB</sup>
26	9,51±0,02 <sup>aA</sup>	8,19±0,02 <sup>bA</sup>	7,80±0,01 <sup>cA</sup>	6,62±0,01 <sup>dA</sup>	4,89±0,02 <sup>eA</sup>	4,45±0,02 <sup>fA</sup>	4,28±0,01 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )



**Slika 16** Vsebnost konjugiranih trienov (KT) v vzorcih repičnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 16** The amount of conjugated trienes in rapeseed oil samples, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Primerjava vsebnosti nastalih konjugiranih trienov s številom cvrtij, ko je dosežen delež polarnih spojin 25 % pokaže (slika 16), da v vzorcih z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F in G) nastane tudi do 50 % manj konjugiranih trienov v primerjavi z ostalimi vzorci.

#### 4.1.4 Določanje barve repičnega olja

V preglednici 27 so predstavljeni rezultati meritev L\* vrednosti repičnega olja. Takoj po dodatku antioksidantov je barva vzorcev z dodatkom naravnih antioksidantov nekoliko temnejša v primerjavi s kontrolnim vzorcem in vzorcema z dodatkom sintetičnih antioksidantov. Že po 2. cvrtju se pojavijo razlike in sicer postanejo vzorci z dodatkom naravnih antioksidantov nekoliko svetlejši od ostalih.

Razlike v L\* vrednosti med vzorci so ves čas cvrtja statistično značilne ( $p < 0,05$ ). Vsi vzorci repičnega olja z naraščajočim številom cvrtij statistično značilno ( $p < 0,05$ ) potemniijo, L\* vrednost enakomerno pada. Tudi po 26. cvrtju so razlike med vzorci statistično značilne ( $p < 0,05$ ), vendar je razlika med najboljšim vzorcem (G) in najslabšim vzorcem (A) le 17 %.

**Preglednica 27** L\* vrednost repičnega olja med cvrtjem

**Table 27** L\* value of rapeseed oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	96,82±0,01 <sup>aA</sup>	96,72±0,01 <sup>bA</sup>	96,68±0,01 <sup>cA</sup>	95,85±0,02 <sup>dA</sup>	94,29±0,02 <sup>eA</sup>	94,16±0,01 <sup>gA</sup>	94,24±0,02 <sup>fA</sup>
2	92,04±0,02 <sup>eB</sup>	91,88±0,01 <sup>fB</sup>	91,48±0,01 <sup>gB</sup>	92,16±0,01 <sup>dB</sup>	92,75±0,01 <sup>eB</sup>	92,47±0,01 <sup>cB</sup>	92,66±0,01 <sup>bB</sup>
4	85,81±0,01 <sup>dC</sup>	85,69±0,00 <sup>eC</sup>	85,59±0,02 <sup>fC</sup>	85,82±0,01 <sup>dC</sup>	85,97±0,01 <sup>bC</sup>	85,86±0,01 <sup>cC</sup>	86,09±0,02 <sup>aC</sup>
6	79,90±0,01 <sup>fD</sup>	79,77±0,01 <sup>gD</sup>	80,19±0,01 <sup>eD</sup>	80,34±0,02 <sup>cD</sup>	80,43±0,01 <sup>bD</sup>	80,27±0,01 <sup>dD</sup>	80,55±0,01 <sup>aD</sup>
8	71,75±0,01 <sup>gE</sup>	72,82±0,01 <sup>fE</sup>	73,15±0,01 <sup>dE</sup>	73,06±0,01 <sup>eE</sup>	73,47±0,02 <sup>cE</sup>	74,28±0,01 <sup>bE</sup>	74,48±0,01 <sup>aE</sup>
10	67,52±0,02 <sup>gF</sup>	69,05±0,02 <sup>fF</sup>	69,51±0,01 <sup>eF</sup>	70,04±0,02 <sup>dF</sup>	70,61±0,02 <sup>cF</sup>	71,52±0,01 <sup>bF</sup>	71,98±0,01 <sup>aF</sup>
12	63,66±0,01 <sup>gG</sup>	64,65±0,01 <sup>eG</sup>	64,87±0,02 <sup>cG</sup>	64,63±0,01 <sup>fG</sup>	64,80±0,00 <sup>dG</sup>	64,98±0,01 <sup>bG</sup>	65,05±0,02 <sup>aG</sup>
14	58,33±0,01 <sup>gH</sup>	59,42±0,01 <sup>fH</sup>	59,97±0,01 <sup>eH</sup>	60,22±0,01 <sup>dH</sup>	60,88±0,01 <sup>cH</sup>	61,58±0,02 <sup>bH</sup>	62,33±0,01 <sup>aH</sup>
16	50,43±0,02 <sup>gI</sup>	52,59±0,01 <sup>fI</sup>	52,62±0,01 <sup>eI</sup>	53,39±0,01 <sup>dI</sup>	54,46±0,01 <sup>cI</sup>	55,69±0,01 <sup>bI</sup>	55,85±0,01 <sup>aI</sup>
18	44,43±0,02 <sup>fJ</sup>	46,29±0,01 <sup>eJ</sup>	46,27±0,01 <sup>eJ</sup>	47,91±0,00 <sup>dJ</sup>	48,92±0,01 <sup>cJ</sup>	49,32±0,02 <sup>bJ</sup>	49,67±0,01 <sup>aJ</sup>
20	41,98±0,01 <sup>gK</sup>	45,62±0,01 <sup>fK</sup>	45,81±0,01 <sup>eK</sup>	46,21±0,01 <sup>dK</sup>	47,12±0,01 <sup>cK</sup>	48,05±0,01 <sup>bK</sup>	48,60±0,01 <sup>aK</sup>
22	40,52±0,02 <sup>gL</sup>	44,45±0,01 <sup>fL</sup>	45,06±0,02 <sup>eL</sup>	46,03±0,02 <sup>dL</sup>	46,60±0,01 <sup>cL</sup>	47,44±0,01 <sup>bL</sup>	47,55±0,01 <sup>aL</sup>
24	38,54±0,01 <sup>gM</sup>	42,85±0,01 <sup>fM</sup>	43,15±0,01 <sup>eM</sup>	43,62±0,01 <sup>dM</sup>	44,71±0,01 <sup>cM</sup>	45,31±0,01 <sup>bM</sup>	45,88±0,01 <sup>aM</sup>
26	36,15±0,01 <sup>gN</sup>	40,27±0,02 <sup>fN</sup>	40,72±0,01 <sup>eN</sup>	41,56±0,01 <sup>cN</sup>	41,54±0,01 <sup>dN</sup>	42,16±0,01 <sup>bN</sup>	42,20±0,00 <sup>aN</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Rezultati meritev barvne komponente  $a^*$  so predstavljeni v preglednici 28.  $a^*$  vrednost v vseh vzorcih repičnega olja z naraščajočim številom cvrtij pada, kar pomeni, da se povečuje zelena komponenta oz. so vzorci manj rdeči.

Repično olje z dodatkom naravnih antioksidantov ima nekoliko višjo  $a^*$  vrednost, že po samem dodatku, verjetno zaradi barve samih antioksidantov.

$a^*$  vrednost je po koncu cvrtja najbolj padla v vzorcu repičnega olja brez dodatka antioksidantov (A) in najmanj v vzorcu repičnega olja zaščitenega z rožmarinovim ekstraktom s CITREM-om (G).

**Preglednica 28**  $a^*$  vrednost repičnega olja med cvrtjem

**Table 28**  $a^*$  value of rapeseed oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	-2,33±0,00 <sup>fA</sup>	-2,29±0,01 <sup>eA</sup>	-2,36±0,02 <sup>gA</sup>	-2,14±0,02 <sup>dA</sup>	-2,01±0,02 <sup>cA</sup>	-1,84±0,01 <sup>bA</sup>	-1,81±0,01 <sup>aA</sup>
2	-2,73±0,01 <sup>dB</sup>	-2,73±0,01 <sup>dB</sup>	-2,83±0,01 <sup>eB</sup>	-2,46±0,01 <sup>aB</sup>	-2,84±0,01 <sup>eB</sup>	-2,48±0,01 <sup>bB</sup>	-2,53±0,00 <sup>cB</sup>
4	-3,24±0,01 <sup>dC</sup>	-3,44±0,01 <sup>eC</sup>	-3,48±0,01 <sup>fC</sup>	-3,16±0,01 <sup>cC</sup>	-3,43±0,01 <sup>eC</sup>	-2,92±0,01 <sup>aC</sup>	-3,02±0,01 <sup>bC</sup>
6	-3,87±0,01 <sup>cD</sup>	-4,04±0,01 <sup>eD</sup>	-3,92±0,01 <sup>dD</sup>	-4,11±0,02 <sup>fD</sup>	-3,87±0,01 <sup>cD</sup>	-3,19±0,01 <sup>aD</sup>	-3,48±0,01 <sup>bD</sup>
8	-4,44±0,02 <sup>eE</sup>	-4,63±0,01 <sup>gE</sup>	-4,28±0,02 <sup>dE</sup>	-4,53±0,01 <sup>fE</sup>	-4,07±0,02 <sup>eE</sup>	-3,76±0,01 <sup>bE</sup>	-3,71±0,02 <sup>aE</sup>
10	-4,95±0,01 <sup>fF</sup>	-5,00±0,02 <sup>gF</sup>	-4,62±0,01 <sup>dF</sup>	-4,76±0,01 <sup>eF</sup>	-4,54±0,02 <sup>fF</sup>	-3,79±0,01 <sup>aF</sup>	-3,82±0,02 <sup>bF</sup>
12	-5,40±0,01 <sup>fG</sup>	-5,55±0,01 <sup>gG</sup>	-5,02±0,01 <sup>dG</sup>	-5,27±0,01 <sup>eG</sup>	-4,92±0,02 <sup>fG</sup>	-4,32±0,02 <sup>bG</sup>	-4,13±0,01 <sup>aG</sup>
14	-5,80±0,01 <sup>gH</sup>	-5,63±0,02 <sup>fH</sup>	-4,93±0,00 <sup>gH</sup>	-5,42±0,01 <sup>eH</sup>	-5,02±0,00 <sup>dH</sup>	-4,61±0,01 <sup>bH</sup>	-4,20±0,00 <sup>aH</sup>
16	-6,10±0,02 <sup>gI</sup>	-5,99±0,01 <sup>fI</sup>	-5,47±0,01 <sup>eI</sup>	-5,68±0,00 <sup>dI</sup>	-5,33±0,01 <sup>cI</sup>	-4,71±0,00 <sup>bI</sup>	-4,32±0,01 <sup>aI</sup>
18	-6,12±0,01 <sup>fJ</sup>	-6,14±0,01 <sup>gJ</sup>	-5,61±0,01 <sup>dJ</sup>	-5,80±0,01 <sup>eJ</sup>	-5,47±0,02 <sup>cJ</sup>	-4,81±0,01 <sup>bJ</sup>	-4,42±0,02 <sup>aJ</sup>
20	-6,41±0,01 <sup>fK</sup>	-6,18±0,01 <sup>eK</sup>	-5,61±0,05 <sup>cJ</sup>	-6,04±0,02 <sup>dK</sup>	-5,59±0,01 <sup>cK</sup>	-5,06±0,01 <sup>bK</sup>	-4,96±0,01 <sup>aK</sup>
22	-6,70±0,01 <sup>gL</sup>	-6,29±0,02 <sup>fL</sup>	-5,84±0,01 <sup>dK</sup>	-6,15±0,02 <sup>eL</sup>	-5,71±0,00 <sup>cL</sup>	-5,39±0,01 <sup>aL</sup>	-5,45±0,02 <sup>bL</sup>
24	-6,84±0,02 <sup>gM</sup>	-6,37±0,02 <sup>fM</sup>	-5,96±0,01 <sup>dL</sup>	-6,28±0,01 <sup>eM</sup>	-5,82±0,02 <sup>cM</sup>	-5,60±0,01 <sup>aM</sup>	-5,65±0,01 <sup>bM</sup>
26	-6,96±0,01 <sup>gN</sup>	-6,53±0,01 <sup>fN</sup>	-6,22±0,00 <sup>dM</sup>	-6,32±0,02 <sup>eN</sup>	-5,91±0,01 <sup>cN</sup>	-5,81±0,01 <sup>bN</sup>	-5,73±0,01 <sup>aN</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Komponenta  $b^*$  s številom cvrtij statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča, kot je razvidno iz preglednice 29.

Vzorci postajajo statistično značilno ( $p < 0,05$ ) bolj rumeni.

Po 26. cvrtjih komponenta  $b^*$  doseže najvišjo vrednost v vzorcu repičnega olja z dodatkom tokoferolov (D) in najmanjšo v vzorcu repičnega olja z dodanimi ekstrakti rožmarina (E, F, G).

**Preglednica 29** b\* vrednost repičnega olja med cvrtjem

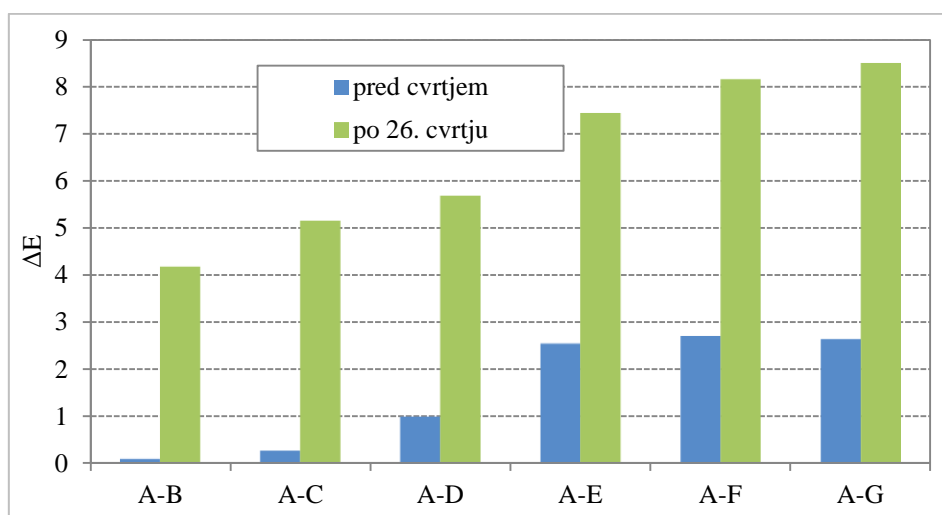
**Table 29** b\* value of rapeseed oil during frying

Št. cvrtij	dodatek						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	9,51±0,01 <sup>bcN</sup>	9,49±0,01 <sup>cdN</sup>	9,27±0,01 <sup>eN</sup>	9,66±0,03 <sup>aN</sup>	9,51±0,01 <sup>bN</sup>	9,65±0,01 <sup>aN</sup>	9,48±0,02 <sup>dN</sup>
2	10,29±0,02 <sup>cM</sup>	10,97±0,01 <sup>aM</sup>	10,20±0,00 <sup>eM</sup>	10,86±0,01 <sup>bM</sup>	10,22±0,02 <sup>dM</sup>	10,10±0,01 <sup>fM</sup>	9,84±0,00 <sup>gM</sup>
4	12,42±0,01 <sup>eL</sup>	13,70±0,01 <sup>aL</sup>	13,36±0,01 <sup>cL</sup>	13,15±0,01 <sup>dL</sup>	13,39±0,00 <sup>bL</sup>	11,80±0,01 <sup>fL</sup>	11,79±0,01 <sup>fL</sup>
6	15,01±0,00 <sup>eK</sup>	16,24±0,02 <sup>bK</sup>	15,90±0,01 <sup>cK</sup>	16,42±0,02 <sup>aK</sup>	15,77±0,01 <sup>dK</sup>	14,51±0,01 <sup>fK</sup>	14,27±0,02 <sup>gK</sup>
8	17,75±0,02 <sup>eJ</sup>	19,82±0,02 <sup>aJ</sup>	18,12±0,02 <sup>dJ</sup>	18,77±0,00 <sup>bJ</sup>	18,20±0,02 <sup>cJ</sup>	16,32±0,02 <sup>fJ</sup>	15,65±0,01 <sup>gJ</sup>
10	20,24±0,02 <sup>dI</sup>	21,01±0,01 <sup>bI</sup>	20,28±0,02 <sup>cI</sup>	21,12±0,01 <sup>aI</sup>	20,18±0,02 <sup>eI</sup>	18,04±0,04 <sup>fI</sup>	17,64±0,01 <sup>gI</sup>
12	23,81±0,01 <sup>aH</sup>	23,11±0,01 <sup>cH</sup>	22,40±0,00 <sup>eH</sup>	23,35±0,01 <sup>bH</sup>	22,57±0,01 <sup>dH</sup>	20,02±0,01 <sup>fH</sup>	19,29±0,01 <sup>gH</sup>
14	24,53±0,01 <sup>cG</sup>	25,28±0,01 <sup>bG</sup>	23,95±0,01 <sup>dG</sup>	25,87±0,00 <sup>aG</sup>	23,94±0,01 <sup>dG</sup>	21,81±0,00 <sup>eG</sup>	20,37±0,02 <sup>fG</sup>
16	27,99±0,01 <sup>bF</sup>	28,85±0,01 <sup>aF</sup>	26,28±0,01 <sup>eF</sup>	26,38±0,02 <sup>dF</sup>	26,58±0,02 <sup>cF</sup>	22,87±0,01 <sup>fF</sup>	22,25±0,02 <sup>gF</sup>
18	29,83±0,02 <sup>cE</sup>	31,01±0,00 <sup>bE</sup>	27,86±0,02 <sup>eE</sup>	32,19±0,01 <sup>aE</sup>	28,21±0,02 <sup>dE</sup>	26,93±0,01 <sup>fE</sup>	25,73±0,01 <sup>gE</sup>
20	31,52±0,01 <sup>cD</sup>	32,75±0,00 <sup>bD</sup>	29,13±0,01 <sup>fD</sup>	34,47±0,04 <sup>aD</sup>	29,30±0,01 <sup>dD</sup>	29,25±0,00 <sup>eD</sup>	27,67±0,01 <sup>gD</sup>
22	33,43±0,01 <sup>cC</sup>	34,06±0,01 <sup>bC</sup>	30,23±0,01 <sup>dC</sup>	36,59±0,01 <sup>aC</sup>	30,05±0,02 <sup>dC</sup>	29,97±0,01 <sup>dC</sup>	28,88±0,00 <sup>eC</sup>
24	35,67±0,01 <sup>cB</sup>	35,87±0,02 <sup>bB</sup>	32,18±0,01 <sup>dB</sup>	37,21±0,02 <sup>aB</sup>	30,80±0,01 <sup>eB</sup>	30,56±0,01 <sup>eB</sup>	29,85±0,01 <sup>fB</sup>
26	36,89±0,02 <sup>cA</sup>	37,54±0,01 <sup>bA</sup>	34,58±0,02 <sup>dA</sup>	38,54±0,01 <sup>aA</sup>	31,86±0,00 <sup>eA</sup>	31,48±0,01 <sup>fA</sup>	31,04±0,01 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Na sliki 17 so prikazane razlike v barvi vzorcev repičnega olja.



**Slika 17** Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) repičnega olja z dodanimi antioksidanti (B, C, D, E, F, G) v primerjavi z vzorcem brez dodatka antioksidantov (A)

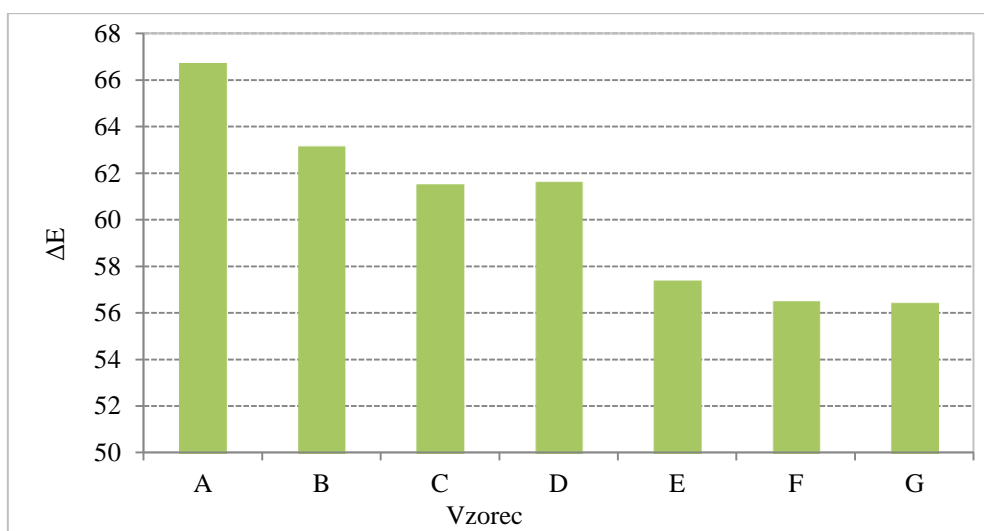
**Figure 17** Colour difference ( $\Delta E$ ) between rapeseed oil samples with the addition of antioxidants (B, C, D, E, F, G) and sample without antioxidants (A)

Pred začetkom cvrtja je vizualna ocena razlike barve repičnega olja z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C) v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A) repičnega olja zelo šibka, vizualna ocena razlike barve repičnega olja z dodatkom tokoferolov (D) v primerjavi s kontrolnim vzorcem repičnega olja šibka in vizualna ocena razlike barve repičnega olja z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F, G) v primerjavi s kontrolnim vzorcem repičnega olja jasna.

To pomeni, da dodatek rožmarinovih ekstraktov repičnemu olju vidno spremeni barvo že pred cvrtjem. Razlike v barvi postanejo po 26. cvrtju v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A) zelo jasne oz. močne (slika 14). Največja sprememba je opazna med vzorcema A in G.

Spremembe barve vzorcev repičnega olja med procesom cvrtja so prikazane na sliki 18.

Skozi proces cvrtja se barva najbolj spremeni vzorcem repičnega olja brez dodatka antioksidantov (A), najmanjša sprememba, čeprav še vedno zelo močna, pa se opazi v vzorcih repičnega olja z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (D, E, F in G).

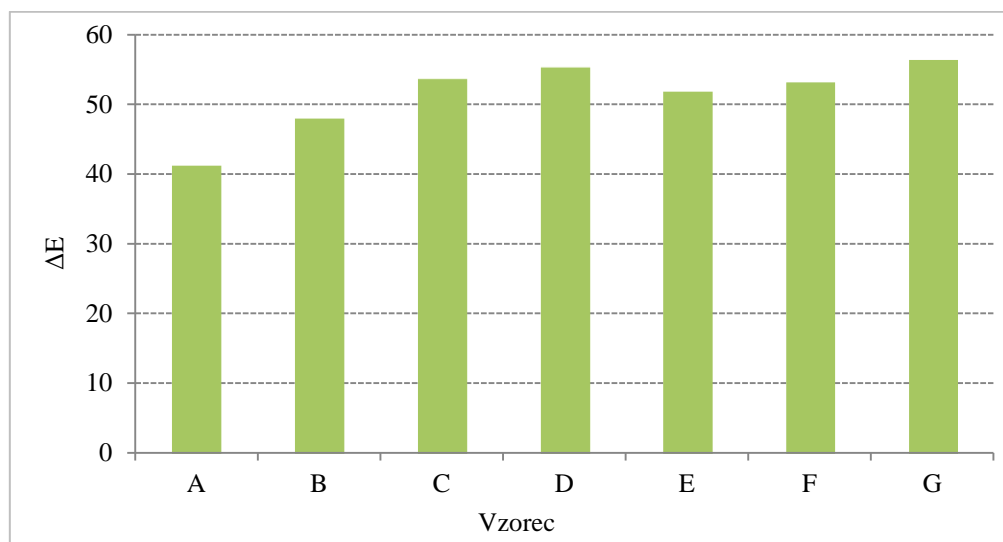


**Slika 18** Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) repičnega olja pred začetkom cvrtja in po 26. cvrtjih  
**Figure 18** Colour difference ( $\Delta E$ ) of rapeseed oil samples before frying and after 26 fryings

Na sliki 19 so prikazane razlike v barvi vzorcev repičnega olja pred začetkom cvrtja in po doseženem 25 % deležu polarnih spojin.

Pri 25 % deležu polarnih spojin so barvne razlike repičnega olja v primerjavi z začetkom cvrtja vizualno zelo močne, najmanjša sprememba barve je opazna pri kontrolnem vzorcem (A), največja pa pri vzorcih repičnega olja z dodatkom tokoferolov (D) in rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).





**Slika 19** Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) repičnega olja pred začetkom cvrtja in po tem, ko delež polarnih spojin naraste na 25 %

**Figure 19** Colour difference ( $\Delta E$ ) of rapeseed oil samples before frying and after polar compounds increased to 25 %

#### 4.1.5 Določanje vsebnosti malonaldehida v krompirčku ocvrtem v repičnem olju

V preglednici 30 so predstavljene vsebnosti sekundarnega oksidacijskega produkta malonaldehida v vzorcih krompirčka ocvrtih v repičnem olju.

Pred začetkom cvrtja predocvrt krompirček vsebuje  $0,21 \pm 0,02$  mg/kg malonaldehida.

Vsebnost malonaldehida v ocvrtem krompirčku narašča s številom cvrtij v vseh vzorcih.

Po 26. cvrtju vsebujejo najmanjšo količino malonaldehida vzorci z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F in G).

Vzorec krompirčka ocvrt v kontrolnem olju (A) vsebuje od 75 do 86 % več malonaldehida v primerjavi s krompirčkom ocvrtim v repičnem olju z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F in G), 50 % več v primerjavi s krompirčkom ocvrtim v repičnem olju z dodatkom tokoferolov (D), 24 % več v primerjavi s krompirčkom ocvrtem v repičnem olju z dodatkom TBHQ (C) in 7 % več v primerjavi s krompirčkom ocvrtem v repičnem olju z dodatkom BHA (B).

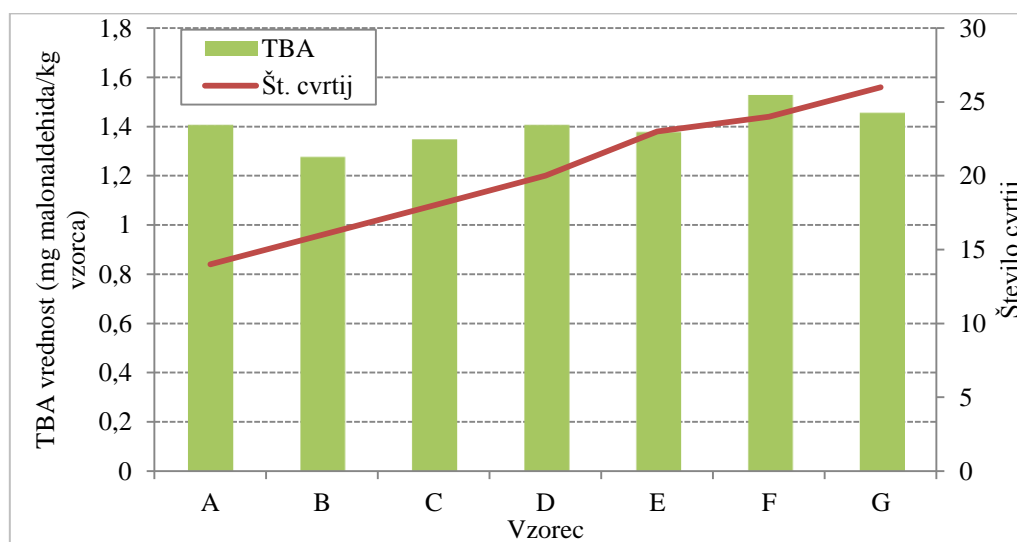
**Preglednica 30** Vsebnost malonaldehida (mg/kg) v krompirčku ocvrtem v repičnem olju

**Table 30** Malonaldehyde concentration (mg/kg) in potatoes fried in rapeseed oil

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,21±0,02 <sup>aN</sup>	0,21±0,02 <sup>aN</sup>	0,21±0,02 <sup>aN</sup>	0,21±0,02 <sup>aN</sup>	0,21±0,02 <sup>aN</sup>	0,21±0,02 <sup>aM</sup>	0,21±0,02 <sup>aN</sup>
2	0,52±0,01 <sup>aM</sup>	0,48±0,00 <sup>bM</sup>	0,44±0,02 <sup>cM</sup>	0,41±0,01 <sup>dM</sup>	0,39±0,02 <sup>eM</sup>	0,37±0,01 <sup>eL</sup>	0,34±0,01 <sup>fM</sup>
4	0,73±0,01 <sup>aL</sup>	0,67±0,01 <sup>bL</sup>	0,67±0,02 <sup>bL</sup>	0,55±0,01 <sup>cL</sup>	0,53±0,01 <sup>dL</sup>	0,51±0,00 <sup>deK</sup>	0,49±0,02 <sup>eL</sup>
6	0,89±0,01 <sup>aK</sup>	0,78±0,01 <sup>bK</sup>	0,78±0,00 <sup>bK</sup>	0,66±0,01 <sup>cK</sup>	0,65±0,01 <sup>cK</sup>	0,61±0,01 <sup>dJ</sup>	0,59±0,01 <sup>eK</sup>
8	1,04±0,01 <sup>aJ</sup>	0,83±0,02 <sup>bJ</sup>	0,85±0,01 <sup>bJ</sup>	0,73±0,01 <sup>dJ</sup>	0,70±0,01 <sup>eJ</sup>	0,67±0,01 <sup>fI</sup>	0,64±0,01 <sup>gJ</sup>
10	1,13±0,01 <sup>aI</sup>	0,99±0,01 <sup>bI</sup>	0,92±0,01 <sup>cI</sup>	0,85±0,01 <sup>dI</sup>	0,83±0,00 <sup>eI</sup>	0,75±0,01 <sup>fH</sup>	0,71±0,01 <sup>gI</sup>
12	1,26±0,00 <sup>aH</sup>	1,10±0,01 <sup>bH</sup>	1,05±0,01 <sup>cH</sup>	0,96±0,01 <sup>dH</sup>	0,93±0,01 <sup>eH</sup>	0,90±0,01 <sup>fG</sup>	0,83±0,00 <sup>gH</sup>
14	1,41±0,01 <sup>aG</sup>	1,22±0,00 <sup>bG</sup>	1,18±0,02 <sup>cG</sup>	1,09±0,02 <sup>dG</sup>	1,05±0,02 <sup>eG</sup>	1,00±0,01 <sup>fF</sup>	0,92±0,02 <sup>gG</sup>
16	1,58±0,03 <sup>aF</sup>	1,27±0,01 <sup>bF</sup>	1,26±0,01 <sup>bF</sup>	1,18±0,01 <sup>cF</sup>	1,15±0,01 <sup>dF</sup>	1,11±0,01 <sup>eE</sup>	1,06±0,02 <sup>fF</sup>
18	1,71±0,01 <sup>aE</sup>	1,43±0,01 <sup>bE</sup>	1,35±0,01 <sup>cE</sup>	1,26±0,01 <sup>dE</sup>	1,21±0,01 <sup>eE</sup>	1,19±0,01 <sup>fD</sup>	1,14±0,02 <sup>gE</sup>
20	1,84±0,01 <sup>aD</sup>	1,65±0,02 <sup>bD</sup>	1,52±0,00 <sup>cD</sup>	1,41±0,01 <sup>dD</sup>	1,35±0,00 <sup>eD</sup>	1,29±0,01 <sup>fC</sup>	1,26±0,01 <sup>gD</sup>
22	2,22±0,00 <sup>aC</sup>	1,87±0,02 <sup>bC</sup>	1,67±0,02 <sup>cC</sup>	1,55±0,01 <sup>dC</sup>	1,38±0,01 <sup>eC</sup>	1,35±0,00 <sup>fB</sup>	1,31±0,00 <sup>gC</sup>
24	2,44±0,01 <sup>aB</sup>	1,97±0,00 <sup>bB</sup>	1,83±0,02 <sup>bB</sup>	1,89±0,01 <sup>dB</sup>	1,47±0,01 <sup>fB</sup>	1,53±0,01 <sup>eA</sup>	1,38±0,01 <sup>gB</sup>
26	2,71±0,02 <sup>aA</sup>	2,54±0,01 <sup>bA</sup>	2,18±0,02 <sup>cA</sup>	1,81±0,00 <sup>dA</sup>	1,55±0,01 <sup>eA</sup>	1,53±0,01 <sup>fA</sup>	1,46±0,00 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-N vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )



**Slika 20** Vsebnost malonaldehida (TBA) v krompirčku ocvrtem v repičnem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 20** The amount of malonaldehyde in potatoes fried in rapeseed oil, when the amount of polar compounds increased to 25 %

Vsebnost malonaldehida med vzorci pri enakem deležu polarnih spojin v olju (25 %) ni enaka (slika 20).

#### 4.1.6 Senzorična analiza krompirčka ocvrtega v repičnem olju

**Preglednica 31**                      **Senzorična ocena (1-7) vonja krompirčka ocvrtega v repičnem olju**  
**Table 31**                                **Sensory evaluation (1-7) of odour of potato fried in rapeseed oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>
2	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>
4	6,6±0,5 <sup>bAB</sup>	6,8±0,4 <sup>abA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>
6	6,2±0,8 <sup>bBC</sup>	6,6±0,5 <sup>abA</sup>	6,8±0,4 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>
8	5,6±0,5 <sup>bC</sup>	5,8±0,4 <sup>abB</sup>	6,6±0,5 <sup>aAB</sup>	6,8±0,4 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>
10	4,6±0,5 <sup>dD</sup>	5,6±0,5 <sup>cbB</sup>	6,2±0,4 <sup>bB</sup>	6,4±0,5 <sup>bAB</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>
12	4,2±0,4 <sup>eDE</sup>	4,8±0,4 <sup>dC</sup>	5,6±0,5 <sup>cC</sup>	6,0±0,0 <sup>bcBC</sup>	6,4±0,5 <sup>bbB</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	7,0±0,0 <sup>aA</sup>
14	3,8±0,4 <sup>eEF</sup>	4,6±0,5 <sup>dC</sup>	5,2±0,4 <sup>cdC</sup>	5,6±0,5 <sup>bcCD</sup>	6,2±0,4 <sup>abB</sup>	6,8±0,4 <sup>aAB</sup>	6,8±0,4 <sup>aAB</sup>
16	3,4±0,5 <sup>cfF</sup>	4,2±0,8 <sup>KC</sup>	4,2±0,4 <sup>bdD</sup>	5,6±0,5 <sup>acdD</sup>	6,2±0,4 <sup>abB</sup>	6,4±0,5 <sup>aBC</sup>	6,4±0,5 <sup>aBC</sup>
18	3,2±0,8 <sup>bfF</sup>	3,4±0,5 <sup>bdD</sup>	3,4±0,5 <sup>beE</sup>	5,4±0,5 <sup>adD</sup>	5,6±0,5 <sup>acC</sup>	6,2±0,4 <sup>acdD</sup>	6,2±0,4 <sup>acdD</sup>
20	2,4±0,5 <sup>egG</sup>	3,2±0,4 <sup>dD</sup>	3,2±0,4 <sup>deE</sup>	4,6±0,5 <sup>ceE</sup>	5,2±0,4 <sup>bcC</sup>	5,8±0,4 <sup>adeE</sup>	6,0±0,0 <sup>acdD</sup>
22	2,2±0,4 <sup>cgG</sup>	2,4±0,5 <sup>ceE</sup>	2,4±0,5 <sup>cfF</sup>	4,4±0,5 <sup>beE</sup>	4,6±0,5 <sup>bdD</sup>	5,6±0,5 <sup>aEF</sup>	6,2±0,4 <sup>acdD</sup>
24	1,8±0,4 <sup>dGH</sup>	2,0±0,0 <sup>deE</sup>	2,2±0,4 <sup>dFG</sup>	4,2±0,4 <sup>ceE</sup>	4,2±0,4 <sup>cdDE</sup>	5,2±0,4 <sup>bFG</sup>	6,0±0,7 <sup>acdD</sup>
26	1,4±0,5 <sup>dH</sup>	1,6±0,5 <sup>deE</sup>	1,8±0,4 <sup>dG</sup>	3,4±0,5 <sup>cfF</sup>	4,0±0,0 <sup>bceE</sup>	4,8±0,4 <sup>bH</sup>	5,8±0,4 <sup>adD</sup>

a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-H vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

V preglednicah 31, 32, 33, 34 in 35 so prikazane razlike v senzorični kakovosti vzorcev krompirčka ocvrtega v repičnem olju.

Iz preglednice 31 je razvidno, da se vonj ocvrtega krompirčka statistično značilno slabša s številom cvrtij ( $p < 0,05$ ).

Med vzorci postanejo razlike statistično značilne ( $p < 0,05$ ) po 10. cvrtju. Pri vzorcu krompirčka ocvrtega v repičnem olju brez dodatka antioksidantov (A) in pri vzorcih krompirčka ocvrtih v repičnem olju z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C), kakovost vonja z naraščajočim številom cvrtij drastično pada.

Ocena vonja 4 je meja, pri kateri so izdelki še senzorično sprejemljivi, kar pomeni, da je kontrolni vzorec ustrezen do 12. oz. 14. cvrtja, kjer je tudi meja, ko repično olje doseže 25 % polarnih spojin.

Vzorci krompirčka ocvrtega v olju zaščitenemu z naravnimi ekstrakti rožmarina, dosežejo oceno 4 po dosegu 25 % polarnih spojin. Najboljše ocenjen je vzorec krompirčka ocvrt v vzorcu G, ki ima tudi še po 26. cvrtju zelo visoko oceno, kar pomeni, da citronska kislina iz CITREM-a nekaj prispeva k svežini in ohranitvi vonja.

**Preglednica 32**                      **Senzorična ocena (1-4-7) barve krompirčka ocvrtega v repičnem olju**  
**Table 32**                              **Sensory evaluation (1-4-7) of colour of potato fried in rapeseed oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	1,4±0,5 <sup>bF</sup>	1,4±0,5 <sup>abl</sup>	1,4±0,5 <sup>abH</sup>	1,4±0,5 <sup>aF</sup>	1,4±0,5 <sup>aG</sup>	1,4±0,5 <sup>abF</sup>	1,4±0,5 <sup>abE</sup>
2	2,4±0,5 <sup>bF</sup>	2,4±0,5 <sup>abl</sup>	2,6±0,5 <sup>abG</sup>	2,6±0,5 <sup>aE</sup>	3,0±0,7 <sup>abF</sup>	3,0±0,7 <sup>abE</sup>	3,2±0,4 <sup>abD</sup>
4	3,2±0,4 <sup>aE</sup>	3,4±0,5 <sup>aH</sup>	3,8±0,4 <sup>aF</sup>	3,6±0,5 <sup>aDE</sup>	3,6±0,5 <sup>aEF</sup>	3,8±0,4 <sup>aD</sup>	4,0±0,0 <sup>aC</sup>
6	4,0±0,0 <sup>aDE</sup>	4,0±0,0 <sup>aGH</sup>	4,0±0,0 <sup>aF</sup>	4,0±0,0 <sup>aCD</sup>	4,0±0,0 <sup>aDE</sup>	4,0±0,0 <sup>aCD</sup>	4,0±0,0 <sup>aC</sup>
8	4,4±0,5 <sup>aD</sup>	4,2±0,4 <sup>aFG</sup>	4,0±0,0 <sup>aF</sup>	4,0±0,0 <sup>aCD</sup>	4,0±0,0 <sup>aDE</sup>	4,0±0,0 <sup>aCD</sup>	4,0±0,0 <sup>aC</sup>
10	4,6±0,5 <sup>aCD</sup>	4,4±0,5 <sup>abFG</sup>	4,2±0,4 <sup>abF</sup>	4,0±0,0 <sup>bCD</sup>	4,0±0,0 <sup>bDE</sup>	4,0±0,0 <sup>bCD</sup>	4,0±0,0 <sup>bC</sup>
12	5,2±0,4 <sup>aBC</sup>	4,8±0,4 <sup>abFG</sup>	4,4±0,5 <sup>bcF</sup>	4,4±0,5 <sup>bcC</sup>	4,2±0,4 <sup>cDE</sup>	4,0±0,0 <sup>cCD</sup>	4,0±0,0 <sup>cC</sup>
14	5,6±0,5 <sup>aB</sup>	5,4±0,5 <sup>aDE</sup>	5,0±0,0 <sup>aE</sup>	4,6±0,5 <sup>bc</sup>	4,4±0,5 <sup>bCD</sup>	4,0±0,0 <sup>bCD</sup>	4,0±0,0 <sup>bC</sup>
16	6,4±0,5 <sup>aA</sup>	5,8±0,8 <sup>abCD</sup>	5,4±0,5 <sup>bDE</sup>	5,2±0,4 <sup>bB</sup>	5,0±0,7 <sup>bcBC</sup>	4,4±0,5 <sup>eBCD</sup>	4,0±0,0 <sup>cC</sup>
18	6,4±0,5 <sup>aA</sup>	6,6±0,5 <sup>aAB</sup>	5,8±0,4 <sup>abBCD</sup>	5,6±0,5 <sup>bcAB</sup>	5,2±0,4 <sup>cdAB</sup>	4,6±0,5 <sup>deBC</sup>	4,0±0,0 <sup>cC</sup>
20	6,6±0,5 <sup>aA</sup>	6,4±0,9 <sup>adABC</sup>	6,0±0,0 <sup>aAB</sup>	6,0±0,7 <sup>abcAB</sup>	5,6±0,5 <sup>bcdAB</sup>	5,4±0,5 <sup>cdA</sup>	4,4±0,5 <sup>dAB</sup>
22	6,6±0,5 <sup>aA</sup>	6,0±0,7 <sup>abBCD</sup>	6,2±0,4 <sup>bcCDE</sup>	6,0±0,0 <sup>bcAB</sup>	5,2±0,4 <sup>cdAB</sup>	4,6±0,5 <sup>deBC</sup>	4,4±0,5 <sup>eC</sup>
24	6,8±0,4 <sup>aA</sup>	6,6±0,5 <sup>aA</sup>	6,4±0,5 <sup>abABC</sup>	6,4±0,5 <sup>bcAB</sup>	5,4±0,5 <sup>cdAB</sup>	4,8±0,4 <sup>deB</sup>	4,8±0,4 <sup>eBA</sup>
26	7,0±0,0 <sup>aA</sup>	6,8±0,4 <sup>aA</sup>	6,8±0,4 <sup>aA</sup>	6,4±0,5 <sup>bA</sup>	5,8±0,4 <sup>bcA</sup>	5,6±0,5 <sup>cdA</sup>	5,4±0,5 <sup>dA</sup>

a-e vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-I vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Kot je razvidno iz preglednice 32, je barva ocvrtega krompirčka pri vseh vzorcih do 4. oz. 6. cvrtja presvetla, zato ker olje v začetku procesa cvrtja še nima dovolj površinske napetosti in je stik med živilom in oljem slab in zaradi tega se toplota ne prenaša iz olja na živilo.

Optimalno barvo ocvrt krompirček doseže pri oceni 4.

Kontrolni vzorec repičnega olja (A) je v optimalni fazi med 6. in 10. cvrtjem, kasneje barva ocvrtega krompirčka potemni, ker se v olju tvori večja količina razgradnih produktov, ki poveča kontaktni čas med živilom in oljem, zato je ocvrt krompirček na površini temen, v notranjosti pa premalo kuhan.

Glede na krivuljo cvrtja (Stier, 2004, slika 2) je olje v optimalni fazi, ko je vsebnost polarnih spojin med 18 in 19 %, vendar je to seveda odvisno od posameznega olja.

**Preglednica 33**                      **Senzorična ocena (0-5) žarkosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju**  
**Table 33**                              **Sensory evaluation (0-5) of rancidity of potato fried in rapeseed oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,00±0,00 <sup>aK</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aH</sup>	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>
2	0,00±0,00 <sup>aK</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aH</sup>	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>
4	0,00±0,00 <sup>aK</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aH</sup>	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>
6	0,60±0,55 <sup>aJ</sup>	0,20±0,45 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>bH</sup>	0,00±0,00 <sup>bG</sup>	0,00±0,00 <sup>bF</sup>	0,00±0,00 <sup>bE</sup>	0,00±0,00 <sup>bD</sup>
8	1,40±0,55 <sup>aI</sup>	0,80±0,45 <sup>bE</sup>	0,60±0,55 <sup>bGH</sup>	0,40±0,55 <sup>bcFG</sup>	0,00±0,00 <sup>cF</sup>	0,00±0,00 <sup>cE</sup>	0,00±0,00 <sup>cD</sup>
10	1,80±0,45 <sup>aHI</sup>	1,20±0,45 <sup>bE</sup>	1,00±0,00 <sup>bcFG</sup>	0,60±0,55 <sup>cdF</sup>	0,20±0,45 <sup>deF</sup>	0,00±0,00 <sup>eE</sup>	0,00±0,00 <sup>dD</sup>
12	2,00±0,00 <sup>aGH</sup>	1,80±0,45 <sup>abD</sup>	1,40±0,55 <sup>bEF</sup>	1,40±0,55 <sup>bE</sup>	0,40±0,55 <sup>cEF</sup>	0,00±0,00 <sup>eE</sup>	0,00±0,00 <sup>cD</sup>
14	2,40±0,55 <sup>aFG</sup>	2,00±0,00 <sup>abD</sup>	1,80±0,45 <sup>abE</sup>	1,60±0,55 <sup>bDE</sup>	0,80±0,45 <sup>cDE</sup>	0,40±0,55 <sup>eE</sup>	0,20±0,45 <sup>cD</sup>
16	2,80±0,45 <sup>aEF</sup>	2,60±0,55 <sup>abC</sup>	2,40±0,55 <sup>abD</sup>	2,00±0,00 <sup>bD</sup>	1,20±0,45 <sup>cD</sup>	1,20±0,45 <sup>cD</sup>	0,60±0,55 <sup>cC</sup>
18	3,00±0,00 <sup>aDE</sup>	2,80±0,45 <sup>aC</sup>	3,00±0,71 <sup>aC</sup>	2,60±0,55 <sup>aC</sup>	1,20±0,45 <sup>bD</sup>	1,40±0,55 <sup>bCD</sup>	1,00±0,00 <sup>bB</sup>
20	3,40±0,55 <sup>aCD</sup>	3,40±0,55 <sup>aB</sup>	3,40±0,55 <sup>aABC</sup>	3,00±0,00 <sup>aBC</sup>	1,80±0,45 <sup>bC</sup>	1,60±0,55 <sup>bCDE</sup>	1,00±0,00 <sup>bB</sup>
22	3,80±0,45 <sup>aBC</sup>	3,60±0,55 <sup>abAB</sup>	3,20±0,45 <sup>bcBC</sup>	3,00±0,00 <sup>cBC</sup>	2,00±0,00 <sup>dBC</sup>	1,80±0,45 <sup>dABC</sup>	1,20±0,45 <sup>eB</sup>
24	4,20±0,45 <sup>aAB</sup>	4,00±0,00 <sup>abA</sup>	3,60±0,55 <sup>bcAB</sup>	3,20±0,45 <sup>cAB</sup>	2,40±0,55 <sup>dAB</sup>	2,00±0,00 <sup>deAB</sup>	1,60±0,55 <sup>eA</sup>
26	4,60±0,55 <sup>aA</sup>	4,00±0,00 <sup>bA</sup>	3,80±0,45 <sup>bA</sup>	3,60±0,55 <sup>bA</sup>	2,80±0,45 <sup>cA</sup>	2,20±0,45 <sup>dA</sup>	1,80±0,45 <sup>dA</sup>

a-e vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Do 4. cvrtja so vsi vzorci ocvrtega krompirčka po okusu sveži (preglednica 33).

Žarkost statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s številom cvrtij in je statistično značilno ( $p < 0,05$ ) odvisna od dodatka antioksidanta.

Vzorci krompirčka ocvrtega v repičnem olju z dodatkom antioksidantov postanejo žarki kasneje kot vzorci krompirčka ocvrti v repičnem olju brez dodatka antioksidantov.

**Preglednica 34**

**Senzorična ocena (0-5) oljivosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju**

**Table 34**

**Sensory evaluation (0-5) of oiliness of potato fried in rapeseed oil**

Št. cvrtij	Dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
2	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
4	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
6	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
8	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
10	0,00±0,00 <sup>aG</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
12	0,20±0,45 <sup>aFG</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
14	0,60±0,55 <sup>aEF</sup>	0,40±0,55 <sup>abDE</sup>	0,00±0,00 <sup>bF</sup>	0,00±0,00 <sup>bE</sup>	0,00±0,00 <sup>bE</sup>	0,00±0,00 <sup>bD</sup>	0,00±0,00 <sup>bB</sup>
16	1,00±0,00 <sup>aDE</sup>	0,80±0,45 <sup>abCD</sup>	0,40±0,55 <sup>bcE</sup>	0,40±0,55 <sup>bcDE</sup>	0,00±0,00 <sup>cE</sup>	0,00±0,00 <sup>cD</sup>	0,00±0,00 <sup>cB</sup>
18	1,40±0,55 <sup>aCD</sup>	1,20±0,45 <sup>abBC</sup>	0,80±0,45 <sup>bcD</sup>	0,60±0,55 <sup>cdD</sup>	0,40±0,55 <sup>cdDE</sup>	0,00±0,00 <sup>dD</sup>	0,00±0,00 <sup>dB</sup>
20	1,60±0,55 <sup>aC</sup>	1,40±0,55 <sup>abB</sup>	1,00±0,00 <sup>bcCD</sup>	1,00±0,00 <sup>bcC</sup>	0,60±0,55 <sup>cdCD</sup>	0,20±0,45 <sup>dcCD</sup>	0,00±0,00 <sup>cB</sup>
22	2,20±0,45 <sup>aB</sup>	1,60±0,55 <sup>abB</sup>	1,20±0,45 <sup>bcC</sup>	1,20±0,45 <sup>bcC</sup>	0,80±0,45 <sup>cdC</sup>	0,40±0,55 <sup>dC</sup>	0,20±0,45 <sup>dB</sup>
24	2,80±0,45 <sup>aA</sup>	2,20±0,45 <sup>ba</sup>	2,00±0,00 <sup>bb</sup>	1,60±0,55 <sup>bcB</sup>	1,20±0,45 <sup>cdB</sup>	0,80±0,45 <sup>dB</sup>	0,60±0,55 <sup>dA</sup>
26	3,00±0,00 <sup>aA</sup>	2,40±0,55 <sup>ba</sup>	2,40±0,55 <sup>ba</sup>	2,00±0,00 <sup>bcA</sup>	1,80±0,45 <sup>ca</sup>	1,20±0,45 <sup>dA</sup>	1,00±0,00 <sup>dA</sup>

a-e vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-G vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Oljavnost statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča po 12. cvrtju in je statistično značilno ( $p < 0,05$ ) odvisna od dodatka antioksidantov (preglednica 34).

Do vključno 10. cvrtja ni razlik v oljavnosti vzorcev ocvrtega krompirčka. Pri kontrolnem vzorcu (A) se čuti rahla oljavnost po 12. cvrtju, medtem ko se v vzorcih z dodanimi rožmarinovimi ekstrakti (E, F, G) začne čutiti šele po 18. cvrtju.

V vzorcih krompirčka ocvrtega v repičnem olju z dodanimi antioksidanti je skupni vtis najboljši od 4. cvrtja dalje (preglednica 35).

Vzorec krompirčka ocvrt v repičnem olju z dodatkom rožmariovega ekstrakta s CITREM-om (G) doseže optimalni skupni vtis po 4. cvrtju in do konca postopka cvrtja le malo pade. Krompirčku ocvrtemu v repičnem olju brez dodatka antioksidantov (A) ocena skupnega vtisa začne padati po 10. cvrtju.

**Preglednica 35**      **Senzorična ocena (1-7) skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v repičnem olju**

**Table 35**      **Sensory evaluation (1-7) of overall impression of potato fried in rapeseed oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	5,20±0,45 <sup>aD</sup>	5,20±0,45 <sup>aB</sup>	5,20±0,45 <sup>aDE</sup>	5,20±0,45 <sup>aD</sup>	5,20±0,45 <sup>aCD</sup>	5,20±0,45 <sup>aE</sup>	5,20±0,45 <sup>aD</sup>
2	5,40±0,55 <sup>aCD</sup>	5,80±0,45 <sup>aB</sup>	5,60±0,55 <sup>aCD</sup>	5,60±0,55 <sup>aCD</sup>	5,60±0,55 <sup>aBC</sup>	5,80±0,45 <sup>aD</sup>	6,00±0,00 <sup>aC</sup>
4	6,40±0,55 <sup>aAB</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
6	6,60±0,55 <sup>bAB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
8	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
10	6,40±0,55 <sup>bAB</sup>	6,60±0,55 <sup>abA</sup>	6,60±0,55 <sup>abAB</sup>	6,80±0,45 <sup>abAB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
12	6,00±0,00 <sup>cBC</sup>	6,40±0,55 <sup>bcA</sup>	6,60±0,55 <sup>abAB</sup>	6,60±0,55 <sup>abAB</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
14	5,60±0,55 <sup>dCD</sup>	5,80±0,45 <sup>cdB</sup>	6,00±0,00 <sup>cdBC</sup>	6,20±0,45 <sup>bcBC</sup>	6,60±0,55 <sup>abA</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
16	5,20±0,45 <sup>dD</sup>	5,60±0,55 <sup>cdB</sup>	5,60±0,55 <sup>cdCD</sup>	5,80±0,45 <sup>bcdCD</sup>	6,00±0,71 <sup>bcB</sup>	6,40±0,55 <sup>abBC</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
18	5,00±0,00 <sup>eD</sup>	5,20±0,45 <sup>eB</sup>	5,40±0,55 <sup>deCDE</sup>	5,80±0,45 <sup>cdCD</sup>	6,00±0,00 <sup>bcB</sup>	6,40±0,55 <sup>abBC</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>
20	4,40±0,55 <sup>dE</sup>	4,60±0,55 <sup>dC</sup>	4,80±0,45 <sup>cdEF</sup>	5,40±0,55 <sup>bcD</sup>	5,80±0,45 <sup>bBC</sup>	6,60±0,55 <sup>aAB</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>
22	3,80±0,45 <sup>dF</sup>	4,00±0,00 <sup>cdD</sup>	4,40±0,55 <sup>cdF</sup>	4,60±0,55 <sup>cE</sup>	5,60±0,55 <sup>bBC</sup>	6,40±0,55 <sup>aBC</sup>	6,40±0,55 <sup>aBC</sup>
24	3,20±0,45 <sup>dG</sup>	3,40±0,55 <sup>cdE</sup>	3,60±0,55 <sup>cdF</sup>	4,00±0,00 <sup>cF</sup>	5,60±0,55 <sup>bBC</sup>	6,40±0,55 <sup>aBC</sup>	6,40±0,55 <sup>aBC</sup>
26	2,60±0,55 <sup>dH</sup>	3,00±0,00 <sup>cdE</sup>	3,40±0,55 <sup>cG</sup>	3,60±0,55 <sup>cF</sup>	4,80±0,45 <sup>bD</sup>	6,00±0,00 <sup>aCD</sup>	6,40±0,55 <sup>aBC</sup>

a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-H vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

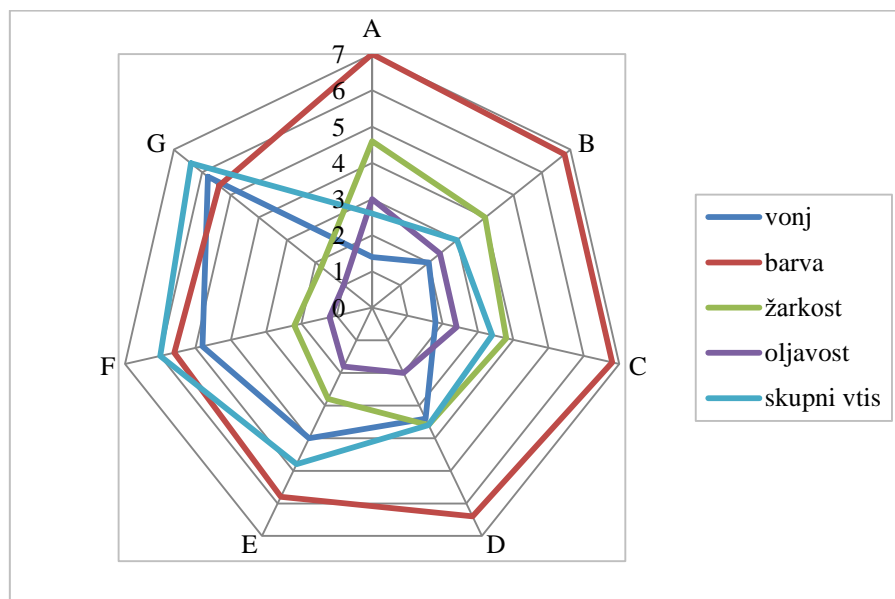
Ocene senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtih v repičnem olju po 26. cvrtjih so prikazane na sliki 21. Vzorci krompirčka ocvrtega v repičnem olju z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F, G) imajo po 26. cvrtjih boljši vonj v primerjavi z ostalimi vzorci, kljub temu, da so bila ta olja podvržena večjemu številu cvrtij.

Po 26. cvrtjih je barva vseh vzorcev ocvrtega krompirčka že pretemna, še posebej barva krompirčka ocvrtega v repičnem olju brez dodatka antioksidantov (A), z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C) in tokoferolov (D).

Ocena žarkosti vzorcev krompirčka ocvrtega v repičnem olju z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F, G) je neprimerno boljša v primerjavi z drugimi vzorci (A, B, C, D).

Ocena oljavosti je tudi manjša v vzorcih krompirčka ocvrtih v repičnem olju z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F in G), čeprav bi glede na dolžino cvrtja pričakovali večjo oceno oljavosti.

V oceni skupnega vtisa so tudi velike razlike med vzorci, saj imajo vzorci ocvrtega krompirčka v olju brez dodatka antioksidantov in z dodatkom sintetičnih antioksidantov, slabše ocenjene vse senzorične lastnosti: vonj, barvo, žarkost in oljavost.



**Slika 21 Ocena senzoričnih lastnosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju po 26. cvrtjih**

**Figure 21 Assessment of sensory parameters of potato fried in rapeseed oil after 26<sup>th</sup> fryings**

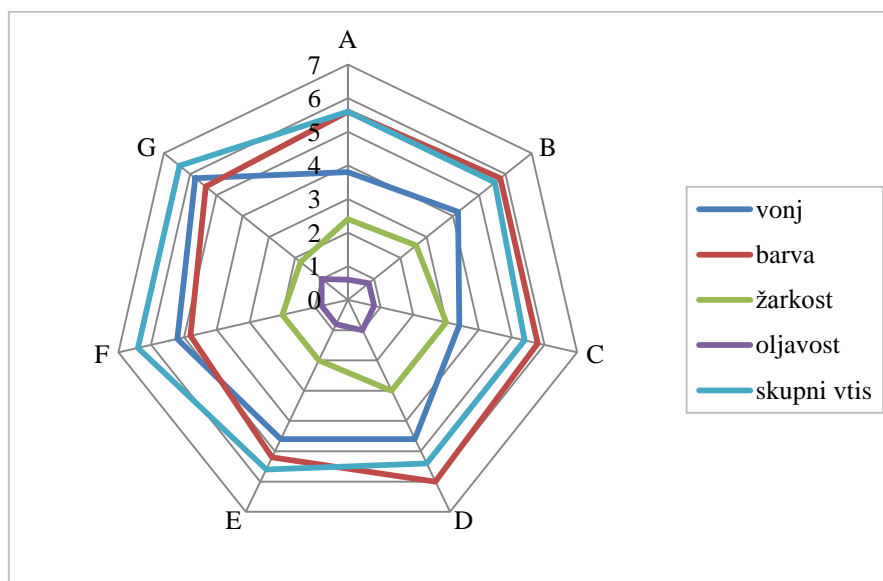
Pri 25 % deležu polarnih spojin je barva vseh vzorcev ocvrtega krompirčka že pretemna (slika 22), še posebej barva krompirčka ocvrtega v repičnem olju brez dodatka antioksidantov (A) in z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C) in tokoferolov (D).

Kljub temu, da je ocena vonja vzorcev krompirčka ocvrtih v repičnem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F in G) slabša, je ocena žarkosti neprimerno boljša v primerjavi z drugimi vzorci (A, B, C, D). Vzorci krompirčka so rahlo (E, F, G) do srednje (A, B, C, D) žarki.

Ocena oljavosti je tudi manjša v vzorcih krompirčka ocvrtih v repičnem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F in G), čeprav bi glede na dolžino cvrtja pričakovali večjo oceno oljavosti.

V oceni skupnega vtisa so tudi velike razlike med vzorci, saj imajo vzorci ocvrtega krompirčka v olju brez dodatka antioksidantov in z dodatkom sintetičnih antioksidantov, slabše ocenjeno barvo, žarkost in oljavost.





**Slika 22** Ocena senzoričnih lastnosti krompirčka ocvrtega v repičnem olju pri enakem deležu polarnih spojin v olju (25 %)

**Figure 22** Assessment of sensory parameters of potato fried in rapeseed oil at the same amount of polar compounds in oil (25 %)

#### 4.1.7 Korelacijska analiza

Rezultati korelacijske analize (Pearsonovi korelacijski koeficienti –  $r$ ) repičnega olja so predstavljeni v preglednici 36.

Ugotovili smo, da je čas cvrtja v tesni povezavi z deležem polarnih spojin ( $r < 0,92$ ), deležem prostih maščobnih kislin ( $r < 0,91$ ), vsebnostjo konjugiranih dienov ( $r < 0,89$ ) in barvo olja ( $0,92 < r < 0,97$ ), ter vsebnostjo malonaldehida ( $r < 0,92$ ), barvo ( $r < 0,83$ ) in žarkostjo ocvrtega krompirčka ( $r < 0,82$ ).

Najtesnejšo povezavo s časom cvrtja ima  $b^*$  barvna komponenta olja ( $r < 0,97$ ).

Delež polarnih spojin, ki je mednarodno priznan parameter za ugotavljanje stopnje razgradnje olja, je v zelo tesni povezavi z deležem prostih maščobnih kislin ( $r < 0,99$ ), vsebnostjo konjugiranih dienov ( $r < 0,98$ ) in barvo olja ( $0,90 < r < 0,95$ ), ter vsebnostjo malonaldehida ( $r < 0,98$ ), vonjem ( $r < 0,92$ ) in žarkostjo ocvrtega krompirčka.

Tudi med ostalimi parametri zasledimo visoke Pearsonove korelacijske koeficiente.

Najtesnejše povezave ( $0,86 < r < 0,98$ ) najdemo med vsebnostjo malonaldehida v ocvrtem krompirčku in vsemi parametri olja, ter žarkostjo ocvrtega krompirčka.

**Preglednica 36** Pearsonovi korelacijski koeficienti med parametri poskusa, izvedenega na repičnem olju**Table 36** Pearson correlation coefficients between parameters of trial performed on rapeseed oil

	cvrtje	PMK	PS	KD	KT	L*	a*	b*	TBA	vonj	barva	žarkost	oljavost	skupni vtis
<b>repično olje</b>														
cvrtje	1,00**	0,91**	0,92**	0,89**	0,66**	-0,96**	-0,92**	0,97**	0,92**	-0,74**	0,83**	0,82**	0,70**	-0,44**
PMK	-	1,00**	0,99**	0,99**	0,85**	-0,90**	-0,93**	0,95**	0,96**	-0,92**	0,88**	0,95**	0,83**	-0,67**
PS	-	-	1,00**	0,98**	0,87**	-0,90**	-0,94**	0,95**	0,98**	-0,92**	0,89**	0,94**	0,85**	-0,65**
KD	-	-	-	1,00**	0,89**	-0,89**	-0,95**	0,94**	0,95**	-0,91**	0,89**	0,94**	0,79**	-0,62**
KT	-	-	-	-	1,00**	-0,69**	-0,83**	0,76**	0,86**	-0,90**	0,80**	0,87**	0,72**	-0,61**
L*	-	-	-	-	-	1,00**	0,92**	-0,95**	-0,90**	0,73**	-0,85**	-0,80**	-0,67**	0,40**
a*	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,96**	-0,93**	0,81**	-0,90**	-0,86**	-0,70**	0,44**
b*	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,94**	-0,79**	0,87**	0,87**	0,75**	-0,52**
<b>ocvrt krompirček</b>														
TBA	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,89**	0,88**	0,91**	0,84**	-0,62**
vonj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,81**	-0,91**	-0,83**	0,73**
barva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,84**	0,70**	-0,45**
žarkost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,81**	-0,70**
oljavost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,77**
skupni vtis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**

\*\* p<0,001 statistično zelo visoko značilno; \* p<0,01 statistično visoko značilno; p<0,05 statistično značilno;

## 4.2 ANALIZE SONČNIČNEGA OLJA IN KROMPIRČKA, OCVRTEGA V SONČNIČNEM OLJU

**Preglednica 37** Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sončničnega olja in krompirčka ocvrtega v sončničnem olju  
**Table 37** Basic statistical parameters of instrumental, chemical and sensory parameters of sunflower oil and potato fried in sunflower oil

Parameter oz. lastnost	n	$\bar{x}$	min	max	s.o.	KV (%)
<b>olja</b>						
polarne spojine (%)	231	18,17	4,00	40,50	9,32	51
proste maščobne kisline (%)	231	0,26	0,04	0,64	0,14	55
konjugirani dieni	231	6,84	2,99	16,57	2,70	39
konjugirani trieni	231	1,20	0,27	2,49	0,55	46
L*	231	69,80	50,21	96,12	14,05	20
a*	231	2,46	-1,02	6,69	2,26	92
b*	231	6,63	2,69	15,59	3,06	46
<b>ocvrt krompirček</b>						
TBA vrednost (mg/kg)	231	1,03	0,20	2,24	0,49	48
akrilamid ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	231	479,81	177,00	1274,00	305,20	64
vonj (1-7 točk)	385	6,04	3,00	7,00	1,14	19
barva (1-4-7 točk)	385	4,31	1,00	7,00	1,31	30
žarkost (0-5 točk)	385	1,19	0,00	5,00	1,25	105
oljavost (0-5 točk)	385	0,61	0,00	4,00	0,97	158
skupni vtis (1-7 točk)	385	5,65	1,00	7,00	1,29	23

n - število obravnavanj;  $\bar{x}$  - povprečna vrednost; min – minimalna vrednost; max – maksimalna vrednost; s.o. – standardni odklon; KV (%) – koeficient variabilnosti

Osnovni statistični parametri instrumentalnih, kemijskih in senzoričnih parametrov so prikazani v preglednici 37.

Iz rezultatov je razvidno, da vsi parametri močno varirajo, predvsem zaradi velikega števila cvrtij in dodatka različnih antioksidantov, kot je razvidno iz preglednice 38.

**Preglednica 38** Viri variabilnosti za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sončničnega olja in krompirčka ocvrtega v sončničnem olju

**Table 38** Sources of variability of instrumental, chemical and sensory parameters of sunflower oil and potato fried in sunflower oil

parameter	vir variabilnosti (p-vrednost)		
	cvrtje	vzorec	cvrtje x vzorec
<b>olje</b>			
polarne spojine (%)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
proste maščobne kisline (%)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
konjugirani dieni	< 0,001	< 0,001	< 0,001
konjugirani trieni	< 0,001	< 0,001	< 0,001
L*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
a*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
b*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<b>ocvrt krompirček</b>			
vsebnost malonaldehida (mg/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
vsebnost akrilamida (mg/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
vonj (1-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
barva (1-4-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
žarkost (0-5 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
oljavost (0-5 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
skupni vtis (1-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001

p≤0,001 statistično zelo visoko značilen vpliv; p≤0,01 statistično visoko značilen vpliv; p≤0,05 statistično značilen vpliv; p>0,05 statistično neznačilen vpliv.

#### 4.2.1 Določanje deleža polarnih spojin v sončničnem olju

V preglednici 39 so zbrane meritve deleža polarnih spojin v sončničnem olju med cvrtjem.

Do 4. cvrtja je razlika v deležu polarnih spojin med kontrolnim vzorcem (A) in vzorci z dodanimi antioksidanti (B-G) majhna. Razlike postanejo statistično značilne (p<0,05) po 4. cvrtju. Po 4. oz. 6. cvrtju delež polarnih spojin v kontrolnem vzorcu (A) hitreje narašča v primerjavi z ostalimi vzorci. Naraščanje polarnih spojin v smislu od manj zaščitene (več polarnih spojin) do bolj zaščitene (manj polarnih spojin) poteka v naslednjem vrstnem redu: A>B>C>D>E>F>G, kar nakazuje, da so najbolj stabilni vzorci sončničnega olja zaščiteni z rožmarinovimi ekstrakti.

**Preglednica 39**

**Delež polarnih spojin (%) v sončničnem olju med cvrtjem**

**Table 39**

**The amount of polar compounds (%) in sunflower oil during frying**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	4,00±0,00 <sup>aK</sup>	4,00±0,00 <sup>aK</sup>	4,00±0,00 <sup>aK</sup>	4,00±0,00 <sup>aK</sup>	4,00±0,00 <sup>aK</sup>	4,00±0,00 <sup>aK</sup>	4,00±0,00 <sup>aK</sup>
2	8,50±0,00 <sup>dJ</sup>	8,00±0,00 <sup>bJ</sup>	7,50±0,00 <sup>cJ</sup>	8,00±0,00 <sup>bJ</sup>	7,50±0,00 <sup>cJ</sup>	7,50±0,00 <sup>cJ</sup>	7,50±0,00 <sup>cJ</sup>
4	13,83±0,29 <sup>aI</sup>	12,00±0,00 <sup>bI</sup>	11,00±0,00 <sup>cI</sup>	11,00±0,00 <sup>cI</sup>	9,50±0,00 <sup>dI</sup>	9,00±0,00 <sup>eI</sup>	8,50±0,00 <sup>fI</sup>
6	18,00±0,00 <sup>aH</sup>	16,67±0,29 <sup>bH</sup>	14,50±0,00 <sup>cH</sup>	13,50±0,00 <sup>dH</sup>	12,00±0,00 <sup>eH</sup>	11,00±0,00 <sup>fH</sup>	10,00±0,00 <sup>gH</sup>
8	21,00±0,00 <sup>aG</sup>	18,67±0,29 <sup>bG</sup>	16,67±0,29 <sup>cG</sup>	15,17±0,29 <sup>dG</sup>	13,50±0,00 <sup>eG</sup>	12,00±0,00 <sup>fG</sup>	11,50±0,00 <sup>gG</sup>
10	25,00±0,00 <sup>aF</sup>	21,00±0,00 <sup>bF</sup>	18,50±0,00 <sup>cF</sup>	17,00±0,00 <sup>dF</sup>	15,00±0,00 <sup>eF</sup>	13,83±0,29 <sup>fF</sup>	13,50±0,00 <sup>gF</sup>
12	28,67±0,29 <sup>aE</sup>	25,50±0,00 <sup>bE</sup>	24,00±0,00 <sup>cE</sup>	20,50±0,00 <sup>dE</sup>	16,33±0,29 <sup>eE</sup>	16,00±0,00 <sup>fE</sup>	15,33±0,29 <sup>gE</sup>
14	31,00±0,00 <sup>aD</sup>	28,50±0,00 <sup>bD</sup>	27,00±0,00 <sup>cD</sup>	23,50±0,00 <sup>dD</sup>	19,00±0,00 <sup>eD</sup>	18,00±0,00 <sup>fD</sup>	17,50±0,00 <sup>gD</sup>
16	34,00±0,00 <sup>aC</sup>	31,00±0,00 <sup>bC</sup>	28,83±0,29 <sup>cC</sup>	26,00±0,00 <sup>dC</sup>	21,50±0,00 <sup>eC</sup>	20,50±0,00 <sup>fC</sup>	20,00±0,00 <sup>gC</sup>
18	37,83±0,29 <sup>aB</sup>	35,50±0,00 <sup>bB</sup>	32,00±0,00 <sup>cB</sup>	29,00±0,00 <sup>dB</sup>	24,00±0,00 <sup>eB</sup>	23,00±0,00 <sup>fB</sup>	22,50±0,00 <sup>gB</sup>
20	40,50±0,00 <sup>aA</sup>	36,50±0,00 <sup>bA</sup>	33,50±0,00 <sup>cA</sup>	30,17±0,29 <sup>dA</sup>	26,50±0,00 <sup>eA</sup>	25,50±0,00 <sup>fA</sup>	24,50±0,00 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Kontrolno olje (A) doseže 25 % delež polarnih spojin po 10. cvrtjih, medtem ko sončnično olje z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) doseže enak delež polarnih spojin po 20. cvrtjih. To pomeni, da se stabilnost sončničnega olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) podvoji. Pred nastankom polarnih spojin zelo dobro zaščitita sončnično olje tudi rožmarinov ekstrakt brez dodatkov (E) in rožmarinov ekstrakt s tokoferoli (F).

#### 4.2.2 Določanje deleža prostih maščobnih kislin v sončničnem olju

Spremembe v deležu nastalih prostih maščobnih kislin v sončničnem olju med cvrtjem so prikazane v preglednici 40.

Začetni delež prostih maščobnih kislin znaša med 0,04 % in 0,05 %. Delež prostih maščobnih kislin statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča v vseh vzorcih z naraščajočim številom cvrtij.

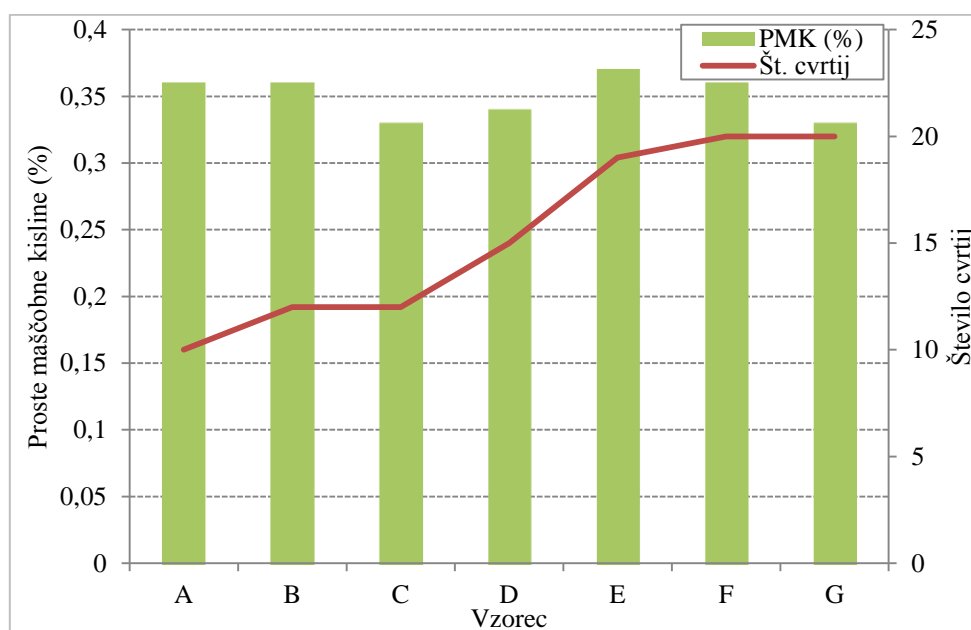
Tako kot polarne spojine, tudi proste maščobne kisline najbolj naraščajo v kontrolnem vzorcu (A), kar pomeni, da so nezaščitena olja bolj podvržena razgradnji med cvrtjem, kot olja z dodatkom antioksidantov. Nastanek prostih maščobnih kislin po 20. cvrtju je skoraj 50 % manjši v vzorcu z dodanim rožmarinovim ekstraktom s CITREM-om (G) v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A).

**Preglednica 40** Delež prostih maščobnih kislin (%) v sončničnem olju med cvrtjem  
**Table 40** The amount of free fatty acids (%) in sunflower oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,05±0,01 <sup>aK</sup>	0,04±0,01 <sup>aJ</sup>	0,05±0,01 <sup>aK</sup>	0,05±0,01 <sup>aJ</sup>	0,05±0,01 <sup>aI</sup>	0,05±0,01 <sup>aI</sup>	0,04±0,00 <sup>aH</sup>
2	0,13±0,01 <sup>aJ</sup>	0,12±0,01 <sup>aI</sup>	0,09±0,00 <sup>bCJ</sup>	0,09±0,01 <sup>bCI</sup>	0,09±0,01 <sup>bHI</sup>	0,08±0,00 <sup>cHI</sup>	0,08±0,01 <sup>cG</sup>
4	0,22±0,01 <sup>aI</sup>	0,19±0,03 <sup>bHI</sup>	0,17±0,01 <sup>cI</sup>	0,13±0,01 <sup>dHI</sup>	0,13±0,02 <sup>dGI</sup>	0,13±0,01 <sup>dGI</sup>	0,10±0,01 <sup>eG</sup>
6	0,27±0,01 <sup>aH</sup>	0,22±0,02 <sup>bHI</sup>	0,20±0,01 <sup>cHI</sup>	0,17±0,01 <sup>dGI</sup>	0,17±0,01 <sup>deF</sup>	0,15±0,01 <sup>eF</sup>	0,13±0,02 <sup>IF</sup>
8	0,32±0,01 <sup>aG</sup>	0,28±0,02 <sup>bGI</sup>	0,24±0,03 <sup>cGI</sup>	0,22±0,01 <sup>dFI</sup>	0,19±0,01 <sup>eFI</sup>	0,18±0,01 <sup>eIE</sup>	0,16±0,02 <sup>IE</sup>
10	0,36±0,01 <sup>aF</sup>	0,31±0,03 <sup>bFI</sup>	0,27±0,02 <sup>cFI</sup>	0,24±0,02 <sup>cdFI</sup>	0,20±0,02 <sup>eE</sup>	0,21±0,03 <sup>deD</sup>	0,19±0,01 <sup>eD</sup>
12	0,39±0,02 <sup>aE</sup>	0,36±0,01 <sup>bEI</sup>	0,33±0,00 <sup>eE</sup>	0,29±0,02 <sup>dEI</sup>	0,27±0,02 <sup>eD</sup>	0,23±0,02 <sup>ID</sup>	0,21±0,01 <sup>ID</sup>
14	0,46±0,02 <sup>aD</sup>	0,39±0,01 <sup>bDI</sup>	0,36±0,01 <sup>cDI</sup>	0,32±0,02 <sup>dDI</sup>	0,30±0,02 <sup>dC</sup>	0,27±0,01 <sup>eC</sup>	0,24±0,02 <sup>IC</sup>
16	0,52±0,02 <sup>aC</sup>	0,46±0,02 <sup>bCI</sup>	0,42±0,01 <sup>cCI</sup>	0,35±0,02 <sup>dCI</sup>	0,32±0,01 <sup>eC</sup>	0,29±0,02 <sup>IC</sup>	0,27±0,02 <sup>IC</sup>
18	0,56±0,02 <sup>aB</sup>	0,48±0,01 <sup>bBI</sup>	0,46±0,01 <sup>cBI</sup>	0,41±0,02 <sup>DB</sup>	0,36±0,01 <sup>eB</sup>	0,32±0,01 <sup>IB</sup>	0,29±0,01 <sup>IB</sup>
20	0,61±0,03 <sup>aA</sup>	0,56±0,01 <sup>bAI</sup>	0,43±0,01 <sup>CA</sup>	0,47±0,02 <sup>dA</sup>	0,39±0,01 <sup>eA</sup>	0,36±0,01 <sup>IA</sup>	0,33±0,01 <sup>IA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )



**Slika 23** Delež prostih maščobnih kislin (PMK) v vzorcih sončničnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 23** The amount of free fatty acids in sunflower oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Primerjava rezultatov pri enakem deležu polarnih spojin (slika 23) pokaže, da ni velike razlike v deležu prostih maščobnih kislin med vzorci sončničnega olja.

#### 4.2.3 Določanje vsebnosti konjugiranih dienov in trienov v sončničnem olju

Rezultati meritev specifičnega absorpcijskega koeficienta ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 232 nm, ki merijo vsebnost konjugiranih dienov so prikazani v preglednici 41.

**Preglednica 41** Specifični absorpcijski koeficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 232 nm v sončničnem olju med cvrtjem

**Table 41** Specific absorption coefficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) at 232 nm in sunflower oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	3,06±0,01 <sup>bcK</sup>	3,03±0,01 <sup>cdK</sup>	3,06±0,01 <sup>bK</sup>	3,09±0,02 <sup>abK</sup>	3,01±0,03 <sup>dK</sup>	3,07±0,02 <sup>bK</sup>	3,10±0,02 <sup>aK</sup>
2	7,43±0,02 <sup>aj</sup>	4,01±0,01 <sup>ej</sup>	4,23±0,03 <sup>bj</sup>	4,00±0,02 <sup>ej</sup>	3,82±0,02 <sup>dj</sup>	3,71±0,03 <sup>ej</sup>	3,65±0,01 <sup>ij</sup>
4	8,67±0,01 <sup>al</sup>	4,83±0,01 <sup>el</sup>	4,95±0,03 <sup>bl</sup>	4,86±0,01 <sup>el</sup>	4,72±0,02 <sup>dl</sup>	4,69±0,02 <sup>el</sup>	4,64±0,02 <sup>il</sup>
6	10,02±0,01 <sup>ah</sup>	5,70±0,01 <sup>eh</sup>	5,74±0,02 <sup>bh</sup>	5,39±0,02 <sup>dh</sup>	5,22±0,02 <sup>eh</sup>	5,16±0,02 <sup>ih</sup>	5,09±0,02 <sup>gh</sup>
8	10,34±0,01 <sup>ag</sup>	6,46±0,02 <sup>bg</sup>	6,26±0,03 <sup>cg</sup>	5,83±0,01 <sup>dg</sup>	5,60±0,02 <sup>eg</sup>	5,47±0,01 <sup>fg</sup>	5,45±0,03 <sup>fg</sup>
10	10,48±0,01 <sup>af</sup>	7,80±0,02 <sup>bf</sup>	6,92±0,02 <sup>cf</sup>	6,03±0,02 <sup>df</sup>	5,91±0,03 <sup>ef</sup>	5,84±0,02 <sup>ff</sup>	5,79±0,03 <sup>gf</sup>
12	11,30±0,01 <sup>ae</sup>	8,54±0,01 <sup>be</sup>	7,53±0,02 <sup>ce</sup>	6,42±0,01 <sup>de</sup>	6,17±0,02 <sup>ee</sup>	5,92±0,01 <sup>ie</sup>	5,86±0,02 <sup>ge</sup>
14	11,60±0,02 <sup>ad</sup>	9,01±0,02 <sup>bd</sup>	7,88±0,02 <sup>cd</sup>	6,87±0,01 <sup>dd</sup>	6,44±0,02 <sup>ed</sup>	6,35±0,03 <sup>fd</sup>	6,17±0,02 <sup>gd</sup>
16	12,16±0,02 <sup>ac</sup>	9,81±0,03 <sup>bc</sup>	8,53±0,02 <sup>cc</sup>	7,23±0,02 <sup>dc</sup>	6,88±0,02 <sup>ec</sup>	6,75±0,02 <sup>fc</sup>	6,67±0,01 <sup>gc</sup>
18	14,65±0,01 <sup>ab</sup>	10,52±0,02 <sup>bb</sup>	9,63±0,02 <sup>cb</sup>	7,99±0,02 <sup>db</sup>	7,31±0,01 <sup>eb</sup>	7,23±0,02 <sup>fb</sup>	7,11±0,02 <sup>gb</sup>
20	16,55±0,02 <sup>aA</sup>	11,07±0,02 <sup>bA</sup>	10,24±0,02 <sup>cA</sup>	8,91±0,03 <sup>dA</sup>	8,58±0,02 <sup>eA</sup>	8,54±0,01 <sup>fA</sup>	8,40±0,02 <sup>gA</sup>

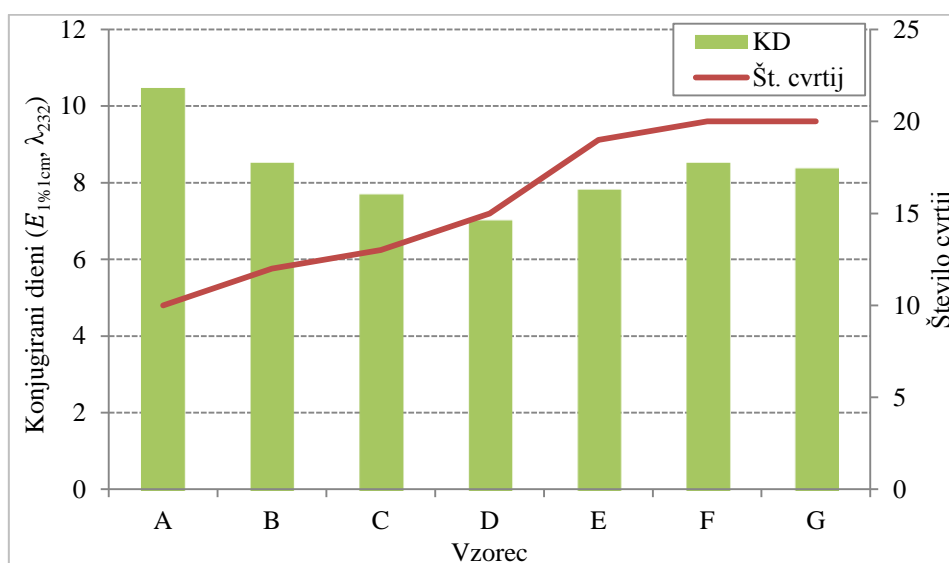
a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Vsebnost konjugiranih dienov v vzorcih sončničnega olja statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s številom cvrtij, razlike v absorbanca vzorcev pri 232 nm postanejo statistično značilne ( $p < 0,05$ ) že po 2. cvrtju.

Po 20. cvrtju je absorbanca kontrolnega vzorca (A) statistično značilno ( $p < 0,05$ ) višja od vzorcev sončničnega olja z dodatkom sintetičnih in naravnih antioksidantov (B-G).

Vzorec sončničnega olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) po 20. cvrtjih vsebuje 50 % konjugiranih dienov manj v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A).



**Slika 24** Vsebnost konjugiranih dienov (KD) v vzorcih sončničnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 24** The amount of conjugated dienes in sunflower oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Primerjava vzorcev pri enakem deležu polarnih spojin (25 %) pokaže (slika 24), da ima najmanjšo vsebnost konjugiranih dienov vzorec olja z dodatkom tokoferolov (D), najvišjo pa kontrolni vzorec (A), razlike v vsebnosti konjugiranih dienov med vzorci so velike.

Rezultati meritev specifičnega absorpcijskega koeficienta ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 268 nm, ki merijo vsebnost konjugiranih trienov so prikazani v preglednici 42.

Vsebnost konjugiranih trienov postopoma narašča s številom cvrtij.

Učinek antioksidantov in število cvrtij na absorbanco olja pri 268 nm je statistično značilen ( $p < 0,05$ ).

Absorbanca kontrolnega olja (A) pri 268 nm po končanem cvrtju je statistično značilno ( $p < 0,05$ ) višja v primerjavi z vzorci z dodanimi antioksidanti (B-G).

V vzorcu olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) nastane 50 % manj konjugiranih trienov v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A).



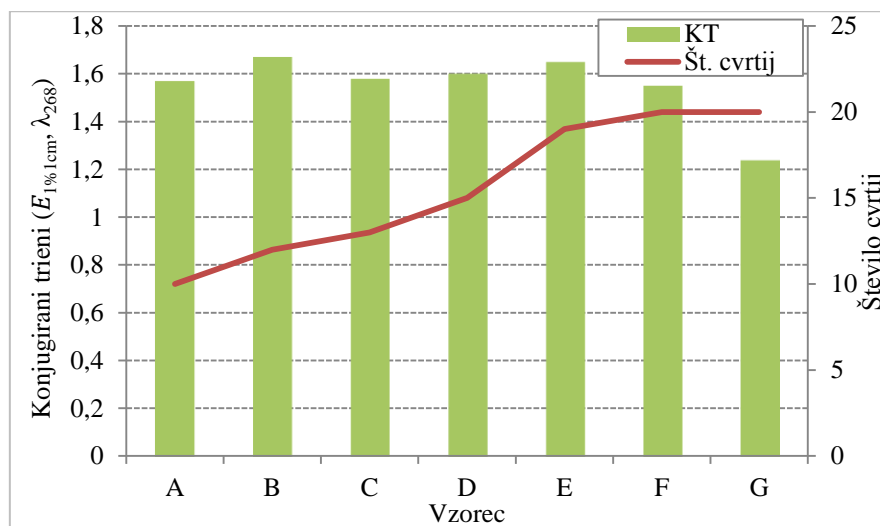
**Preglednica 42**      **Specifični absorpcijski koeficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 268 nm v sončničnem olju med cvrtjem**

**Table 42**      **Specific absorbtion coefficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) at 268 nm in sunflower oil during frying**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,32±0,01 <sup>abK</sup>	0,28±0,01 <sup>cK</sup>	0,32±0,02 <sup>abK</sup>	0,32±0,03 <sup>abK</sup>	0,29±0,01 <sup>bcK</sup>	0,33±0,02 <sup>aK</sup>	0,31±0,03 <sup>abK</sup>
2	0,86±0,01 <sup>aJ</sup>	0,82±0,01 <sup>bJ</sup>	0,71±0,02 <sup>cJ</sup>	0,57±0,01 <sup>dJ</sup>	0,54±0,01 <sup>eJ</sup>	0,51±0,01 <sup>fJ</sup>	0,45±0,01 <sup>gJ</sup>
4	1,03±0,01 <sup>aI</sup>	0,92±0,01 <sup>bI</sup>	0,88±0,02 <sup>cI</sup>	0,83±0,02 <sup>dI</sup>	0,80±0,01 <sup>eI</sup>	0,75±0,01 <sup>fI</sup>	0,57±0,01 <sup>gI</sup>
6	1,16±0,02 <sup>aH</sup>	1,00±0,01 <sup>bH</sup>	0,94±0,02 <sup>cH</sup>	0,92±0,02 <sup>dH</sup>	0,86±0,01 <sup>eH</sup>	0,84±0,0 <sup>eH</sup>	0,67±0,02 <sup>fH</sup>
8	1,33±0,01 <sup>aG</sup>	1,17±0,02 <sup>bG</sup>	1,08±0,01 <sup>cG</sup>	1,05±0,01 <sup>cG</sup>	0,95±0,01 <sup>dG</sup>	0,93±0,04 <sup>dG</sup>	0,79±0,02 <sup>eG</sup>
10	1,57±0,01 <sup>aF</sup>	1,35±0,01 <sup>bF</sup>	1,21±0,01 <sup>cF</sup>	1,19±0,02 <sup>dF</sup>	1,09±0,01 <sup>eF</sup>	1,01±0,02 <sup>fF</sup>	0,88±0,00 <sup>gF</sup>
12	1,89±0,00 <sup>aE</sup>	1,67±0,01 <sup>bE</sup>	1,51±0,01 <sup>cE</sup>	1,47±,01 <sup>dE</sup>	1,23±0,02 <sup>eE</sup>	1,13±0,01 <sup>fE</sup>	0,96±0,01 <sup>gE</sup>
14	2,01±0,01 <sup>aD</sup>	1,80±0,02 <sup>bD</sup>	1,65±0,01 <sup>cD</sup>	1,52±0,01 <sup>dD</sup>	1,35±0,02 <sup>eD</sup>	1,26±0,02 <sup>fD</sup>	1,11±0,01 <sup>gD</sup>
16	2,23±0,02 <sup>aC</sup>	1,93±0,02 <sup>bC</sup>	1,75±0,00 <sup>cC</sup>	1,67±0,01 <sup>dC</sup>	1,47±0,02 <sup>eC</sup>	1,32±0,02 <sup>fC</sup>	1,15±0,02 <sup>gC</sup>
18	2,36±0,02 <sup>aB</sup>	2,10±0,02 <sup>bB</sup>	1,93±0,02 <sup>cB</sup>	1,86±0,03 <sup>dB</sup>	1,56±0,01 <sup>eB</sup>	1,46±0,01 <sup>fB</sup>	1,19±0,02 <sup>gB</sup>
20	2,48±0,01 <sup>aA</sup>	2,24±0,01 <sup>bA</sup>	2,14±0,03 <sup>cA</sup>	1,98±0,02 <sup>dA</sup>	1,71±0,00 <sup>eA</sup>	1,55±0,02 <sup>fA</sup>	1,24±0,02 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )



**Slika 25**      **Vsebnost konjugiranih trienov (KT) v vzorcih sončničnega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %**

**Figure 25**      **The amount of conjugated trienes in potatoes fried in sunflower oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %**

#### 4.2.4 Določanje barve sončničnega olja

V preglednici 43 so predstavljeni rezultati meritev L\* vrednosti olja, ki nam da podatek o svetlosti (višja vrednost) oziroma temnosti (nižja vrednost) vzorca.

**Preglednica 43** L\* vrednost sončničnega olja med cvrtjem

**Table 43** L\* value of sunflower oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	96,12±0,01 <sup>aA</sup>	96,03±0,02 <sup>bA</sup>	96,03±0,01 <sup>bA</sup>	95,83±0,01 <sup>cA</sup>	95,62±0,01 <sup>dA</sup>	95,71±0,02 <sup>eA</sup>	95,54±0,02 <sup>fA</sup>
2	89,06±0,01 <sup>bB</sup>	89,56±0,01 <sup>eB</sup>	90,42±0,01 <sup>dB</sup>	92,62±0,01 <sup>aB</sup>	91,68±0,01 <sup>cB</sup>	92,46±0,01 <sup>bB</sup>	92,63±0,01 <sup>aB</sup>
4	80,91±0,01 <sup>gC</sup>	81,67±0,01 <sup>fC</sup>	83,41±0,01 <sup>eC</sup>	83,95±0,00 <sup>bC</sup>	83,66±0,01 <sup>dC</sup>	83,91±0,01 <sup>cC</sup>	84,65±0,00 <sup>aC</sup>
6	69,12±0,01 <sup>gD</sup>	73,91±0,00 <sup>hD</sup>	77,45±0,01 <sup>eD</sup>	78,22±0,00 <sup>dD</sup>	78,31±0,00 <sup>cD</sup>	78,87±0,00 <sup>bD</sup>	79,40±0,02 <sup>aD</sup>
8	64,21±0,00 <sup>gE</sup>	67,82±0,00 <sup>hE</sup>	69,12±0,01 <sup>eE</sup>	69,66±0,01 <sup>dE</sup>	69,83±0,01 <sup>cE</sup>	70,22±0,01 <sup>bE</sup>	70,42±0,01 <sup>aE</sup>
10	57,45±0,01 <sup>gF</sup>	60,42±0,02 <sup>hF</sup>	63,40±0,01 <sup>eF</sup>	64,83±0,01 <sup>dF</sup>	65,12±0,01 <sup>cF</sup>	66,42±0,01 <sup>bF</sup>	66,87±0,01 <sup>aF</sup>
12	55,78±0,01 <sup>gG</sup>	58,46±0,01 <sup>hG</sup>	60,88±0,01 <sup>eG</sup>	62,42±0,01 <sup>dG</sup>	62,81±0,01 <sup>cG</sup>	63,61±0,01 <sup>bG</sup>	63,91±0,02 <sup>aG</sup>
14	55,49±0,01 <sup>gH</sup>	56,48±0,01 <sup>hH</sup>	58,14±0,02 <sup>eH</sup>	61,01±0,01 <sup>dH</sup>	61,83±0,01 <sup>cH</sup>	62,64±0,00 <sup>bH</sup>	63,41±0,01 <sup>aH</sup>
16	53,91±0,01 <sup>gI</sup>	54,52±0,02 <sup>hI</sup>	56,02±0,01 <sup>eI</sup>	59,57±0,01 <sup>dI</sup>	60,10±0,01 <sup>cI</sup>	60,86±0,01 <sup>bI</sup>	61,70±0,00 <sup>aI</sup>
18	51,46±0,01 <sup>gJ</sup>	53,92±0,01 <sup>hJ</sup>	55,04±0,00 <sup>eJ</sup>	57,63±0,01 <sup>dJ</sup>	58,12±0,01 <sup>cJ</sup>	58,81±0,01 <sup>bJ</sup>	59,21±0,01 <sup>aJ</sup>
20	50,22±0,01 <sup>gK</sup>	52,42±0,00 <sup>hK</sup>	54,13±0,01 <sup>eK</sup>	55,81±0,01 <sup>dK</sup>	56,38±0,00 <sup>cK</sup>	57,30±0,01 <sup>bK</sup>	58,22±0,01 <sup>aK</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

Vsi vzorci olj s številom cvrtij statistično značilno (p<0,05) potemnjijo, L\* vrednost postopoma in enakomerno pada. Ob koncu procesa cvrtja, po 20. cvrtju, je tudi razlika med posameznimi vzorci statistično značilna (p<0,05).

Po 26. cvrtju so razlike med vzorci statistično značilne (p<0,05), vendar je razlika med najboljšim vzorcem (G) in najslabšim vzorcem (A) majhna, le 16 %.

Vzorci z dodatkom antioksidantov (B, C, D, E, F in G) imajo po 26. cvrtjih svetlejšo barvo od kontrolnega vzorca (A).

Rezultati meritev barvne komponente a\* so predstavljeni v preglednici 44.

**Preglednica 44**

**a\* vrednost sončničnega olja med cvrtjem**

**Table 44**

**a\* value of sunflower oil during frying**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	-0,99±0,01 <sup>cK</sup>	-0,96±0,02 <sup>cK</sup>	0,99±0,04 <sup>cK</sup>	-0,85±0,01 <sup>bK</sup>	-0,79±0,01 <sup>aK</sup>	-0,79±0,02 <sup>aK</sup>	-0,77±0,02 <sup>aK</sup>
2	-0,52±0,01 <sup>aJ</sup>	-0,62±0,00 <sup>bJ</sup>	-0,68±0,00 <sup>dJ</sup>	-0,65±0,01 <sup>gJ</sup>	-0,68±0,01 <sup>dJ</sup>	-0,72±0,01 <sup>deJ</sup>	-0,69±0,02 <sup>dJ</sup>
4	0,21±0,01 <sup>aI</sup>	0,11±0,01 <sup>bI</sup>	0,04±0,01 <sup>dI</sup>	0,07±0,01 <sup>cI</sup>	-0,06±0,00 <sup>fI</sup>	-0,09±0,01 <sup>eI</sup>	-0,04±0,00 <sup>eI</sup>
6	1,24±0,00 <sup>aH</sup>	0,92±0,01 <sup>bH</sup>	0,82±0,01 <sup>cH</sup>	0,83±0,02 <sup>cH</sup>	0,77±0,01 <sup>dH</sup>	0,74±0,01 <sup>eH</sup>	0,71±0,01 <sup>fH</sup>
8	2,44±0,01 <sup>aG</sup>	1,93±0,01 <sup>bG</sup>	1,88±0,01 <sup>cG</sup>	1,85±0,01 <sup>dG</sup>	1,74±0,01 <sup>eG</sup>	1,71±0,01 <sup>fG</sup>	1,64±0,01 <sup>gG</sup>
10	3,53±0,02 <sup>aF</sup>	2,98±0,00 <sup>bF</sup>	2,72±0,02 <sup>cF</sup>	2,47±0,02 <sup>dF</sup>	2,36±0,02 <sup>eF</sup>	2,38±0,01 <sup>eF</sup>	2,33±0,01 <sup>fF</sup>
12	4,49±0,01 <sup>aE</sup>	4,04±0,01 <sup>bE</sup>	3,73±0,02 <sup>cE</sup>	3,43±0,01 <sup>dE</sup>	3,28±0,02 <sup>eE</sup>	3,18±0,02 <sup>fE</sup>	3,05±0,01 <sup>gE</sup>
14	5,22±0,01 <sup>aD</sup>	4,58±0,01 <sup>bD</sup>	4,37±0,01 <sup>cD</sup>	4,03±0,01 <sup>dD</sup>	3,82±0,01 <sup>eD</sup>	3,63±0,01 <sup>fD</sup>	3,51±0,01 <sup>gD</sup>
16	5,48±0,01 <sup>aC</sup>	4,91±0,02 <sup>bC</sup>	4,69±0,00 <sup>cC</sup>	4,37±0,01 <sup>dC</sup>	4,24±0,01 <sup>eC</sup>	4,18±0,00 <sup>fC</sup>	3,98±0,01 <sup>gC</sup>
18	6,05±0,01 <sup>aB</sup>	5,59±0,02 <sup>bB</sup>	5,15±0,02 <sup>cB</sup>	5,06±0,00 <sup>dB</sup>	4,73±0,01 <sup>eB</sup>	4,61±0,00 <sup>fB</sup>	4,42±0,01 <sup>gB</sup>
20	6,67±0,02 <sup>aA</sup>	6,10±0,01 <sup>bA</sup>	5,84±0,01 <sup>cA</sup>	5,45±0,01 <sup>dA</sup>	5,21±0,00 <sup>eA</sup>	4,93±0,01 <sup>fA</sup>	4,63±0,00 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

a\* vrednost je v vseh vzorcih sončničnega olja s časom cvrtja statistično značilno ( $p < 0,05$ ) naraščala, kar pomeni, da so olja postajala bolj rdeča.

Razlike med vzorci so postale statistično značilne ( $p < 0,05$ ) po 4. cvrtju in se ohranile do 20. cvrtja. Vrednost a\* se je najmanj spremenila v vzorcu sončničnega olja z dodanim rožmarinovim ekstraktom s CITREM-om (G) in najbolj v vzorcu sončničnega olja brez dodanih antioksidantov (A).

Rezultati meritev barvne komponente b\* so predstavljeni v preglednici 45.

Sončnično olje s cvrtjem postaja statistično značilno ( $p < 0,05$ ) bolj rumeno, na razvoj rumene barve med cvrtjem prav tako statistično značilno ( $p < 0,05$ ) vpliva dodatek antioksidanta.

Dodatek antioksidantov v sveže olje statistično značilno ( $p < 0,05$ ) vpliva na vrednost rumene barve, saj je vrednost b\* komponente v teh vzorcih višja. Že po 4. cvrtjih postane statistično značilno ( $p < 0,05$ ) najbolj rumen kontrolni vzorec (A).

Rumena komponenta vseh vzorcev do 10. cvrtja enakomerno narašča, nato se začne hitrost razvoja rumene barve povečevati, razlike med vzorci so s številom cvrtij čedalje bolj značilne. Ob koncu cvrtja je najbolj rumen vzorec sončničnega olja brez dodatka antioksidantov (A), najmanj rumen pa vzorec sončničnega olja z dodanim rožmarinovim ekstraktom s CITREM-om (G).

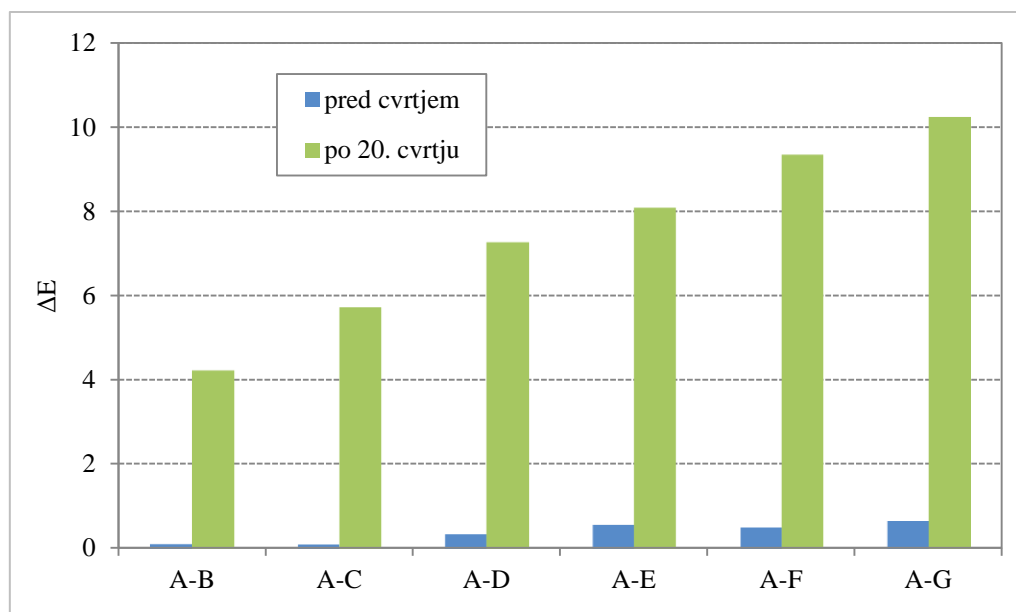
**Preglednica 45 b\* vrednost sončničnega olja med cvrtjem**

**Table 45 b\* value of sunflower oil during frying**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	2,77±0,00 <sup>dK</sup>	2,71±0,02 <sup>eK</sup>	2,73±0,01 <sup>eK</sup>	2,82±0,02 <sup>ck</sup>	2,88±0,02 <sup>aK</sup>	2,90±0,01 <sup>aK</sup>	2,85±0,01 <sup>bK</sup>
2	3,45±0,01 <sup>bj</sup>	3,61±0,01 <sup>aj</sup>	3,41±0,01 <sup>cj</sup>	3,22±0,00 <sup>dj</sup>	3,14±0,01 <sup>ej</sup>	3,07±0,01 <sup>fj</sup>	2,97±0,00 <sup>gj</sup>
4	4,09±0,01 <sup>ai</sup>	4,06±0,01 <sup>bi</sup>	3,98±0,01 <sup>ci</sup>	3,88±0,01 <sup>di</sup>	3,87±0,02 <sup>di</sup>	3,81±0,01 <sup>ei</sup>	3,78±0,01 <sup>fi</sup>
6	4,87±0,01 <sup>ah</sup>	4,78±0,01 <sup>bh</sup>	4,69±0,00 <sup>ch</sup>	4,65±0,01 <sup>dh</sup>	4,63±0,02 <sup>eh</sup>	4,60±0,01 <sup>fh</sup>	4,55±0,01 <sup>gh</sup>
8	5,89±0,01 <sup>ag</sup>	5,86±0,01 <sup>bg</sup>	5,66±0,01 <sup>cg</sup>	5,36±0,01 <sup>dG</sup>	5,29±0,01 <sup>eG</sup>	5,25±0,01 <sup>fG</sup>	5,02±0,01 <sup>gG</sup>
10	6,15±0,00 <sup>bf</sup>	6,21±0,01 <sup>af</sup>	5,91±0,01 <sup>cf</sup>	5,45±0,01 <sup>df</sup>	5,38±0,01 <sup>ef</sup>	5,34±0,01 <sup>ff</sup>	5,10±0,01 <sup>gf</sup>
12	8,46±0,01 <sup>ae</sup>	7,52±0,01 <sup>be</sup>	7,41±0,01 <sup>ce</sup>	6,46±0,01 <sup>de</sup>	6,22±0,00 <sup>ee</sup>	6,06±0,01 <sup>fe</sup>	5,87±0,01 <sup>ge</sup>
14	10,34±0,01 <sup>ad</sup>	9,45±0,01 <sup>bd</sup>	9,41±0,01 <sup>cd</sup>	8,58±0,01 <sup>dd</sup>	8,02±0,01 <sup>ed</sup>	7,43±0,01 <sup>fd</sup>	7,05±0,02 <sup>gd</sup>
16	13,23±0,01 <sup>ac</sup>	10,21±0,01 <sup>bc</sup>	9,97±0,02 <sup>cc</sup>	9,32±0,02 <sup>dc</sup>	8,84±0,01 <sup>ec</sup>	8,35±0,02 <sup>fc</sup>	7,93±0,01 <sup>gc</sup>
18	14,44±0,00 <sup>ab</sup>	11,42±0,01 <sup>bb</sup>	10,53±0,01 <sup>cb</sup>	10,23±0,01 <sup>db</sup>	9,36±0,01 <sup>eb</sup>	8,93±0,01 <sup>fb</sup>	8,84±0,01 <sup>gb</sup>
20	15,58±0,01 <sup>aa</sup>	12,01±0,02 <sup>ba</sup>	11,46±0,02 <sup>ca</sup>	11,09±0,00 <sup>da</sup>	10,54±0,02 <sup>ea</sup>	9,72±0,00 <sup>fa</sup>	9,52±0,01 <sup>ga</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

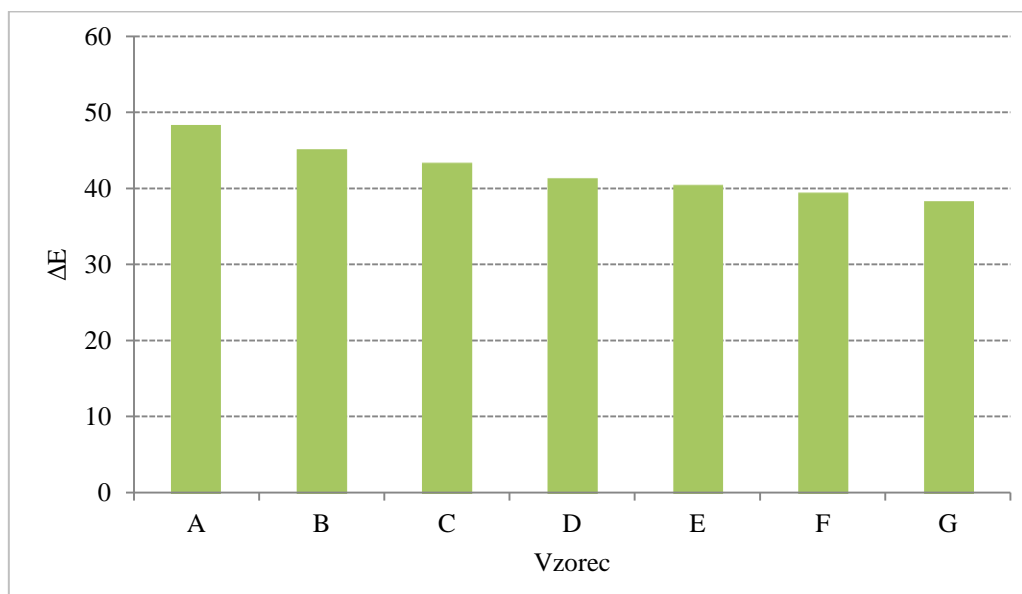
A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )



**Slika 26 Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sončničnega olja z dodanimi antioksidanti (B, C, D, E, F, G) v primerjavi z vzorcem brez dodatka antioksidantov (A)**

**Figure 26 Colour difference ( $\Delta E$ ) between sunflower oil samples with the addition of antioxidants (B, C, D, E, F, G) and sample without antioxidants (A)**

Na sliki 26 je prikazana sprememba barve v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A). V skladu s preglednico 11 so razlike med vzorci pred cvrtjem (po dodatku antioksidantov) vizualno šibke, po 26. cvrtju pa zelo jasne oz. močne. Čeprav so razlike med vzorci pred cvrtjem vizualno šibke, so statistično značilne ( $p < 0,05$ ), kar pomeni, da dodatek antioksidantov vpliva na začetno barvo olja.



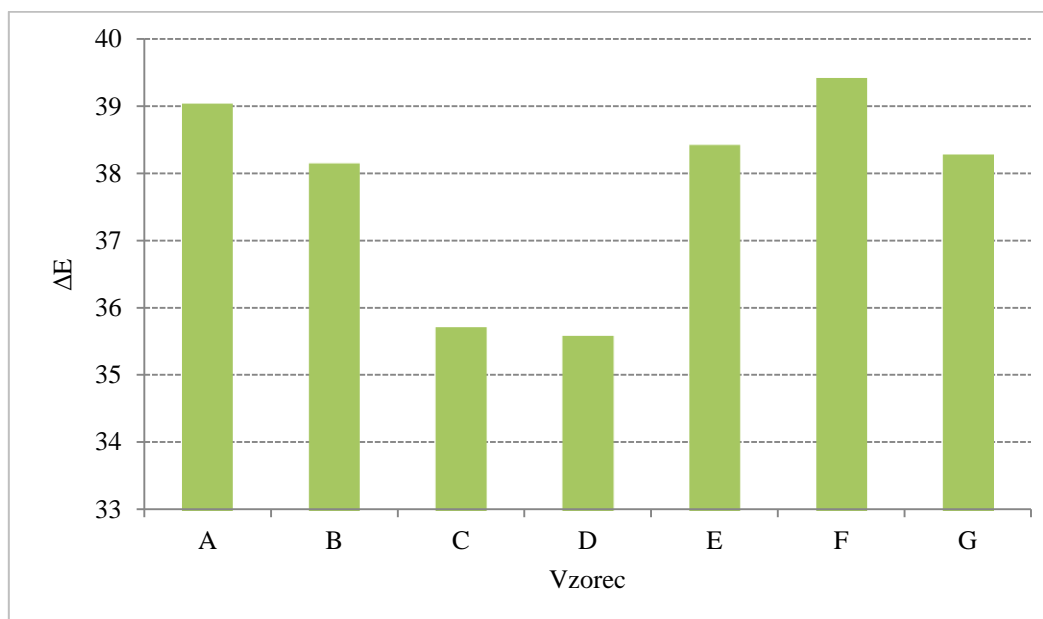
**Slika 27** Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sončničnega olja pred začetkom cvrtja in po 20. cvrtjih

**Figure 27** Colour difference ( $\Delta E$ ) of sunflower oil samples before frying and after 20 fryings

Celotna barvna razlika posameznih vzorcev v primerjavi barve pred cvrtjem in po končanem cvrtju (slika 27), je zelo močna.

Najbolj se med cvrtjem spremeni barva kontrolnega vzorca (A) in najmanj barva olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

Pri enaki količini polarnih spojin (slika 28) v sončničnem olju (25 %) se barva najmanj spremeni v vzorcih C in D, je pa pri vseh vzorcih sprememba barve zelo močna, kar pomeni, da s prostim očesom ne bi mogli ločiti olja brez dodatka antioksidantov od olja z dodatkom antioksidantov.



**Slika 28** Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sončničnega olja pred začetkom cvrtja in po tem, ko delež polarnih spojin naraste na 25 %

**Figure 28** Colour difference ( $\Delta E$ ) of sunflower oil samples before frying and after polar compounds increased to 25 %

#### 4.2.5 Določanje vsebnosti malonaldehida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju

Rezultati analiz vsebnosti malonaldehida v ocvrtem krompirčku so predstavljeni v preglednici 46.

Vsebnost malonaldehida statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s številom cvrtij in z dodatkom antioksidantov. Hitrost nastanka malonaldehida je nekoliko večja do 4. cvrtja, nato se nekoliko umiri in konstantno narašča do konca.

Po 20. cvrtju vsebuje vzorec krompirčka ocvrt v sončničnem olju z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) 49 % manj malonaldehida kot vzorec krompirčka ocvrt v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A). Po vsebnosti malonaldehida si vzorci sledijo v naslednjem vrstnem redu:  $G < F < E < D < C < B < A$ .

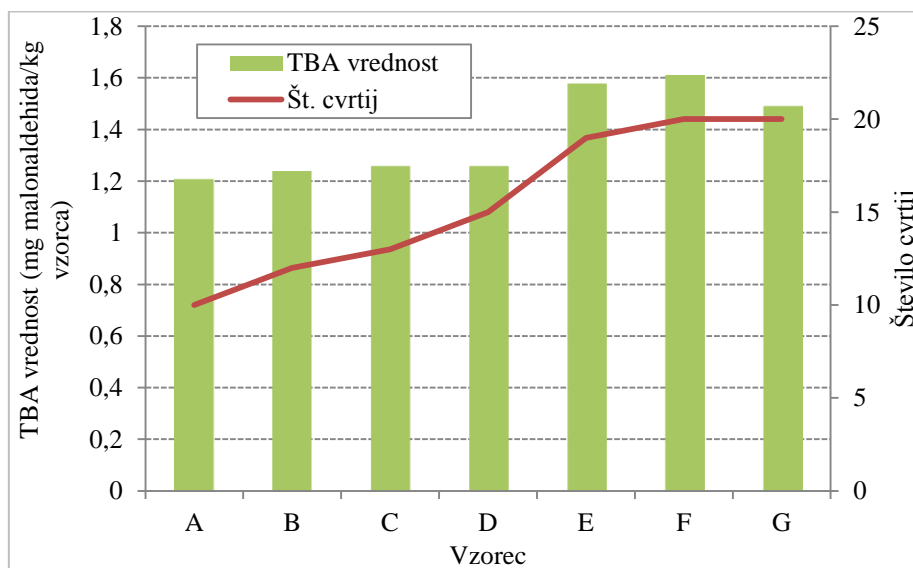
**Preglednica 46 Vsebnost malonaldehida (mg/kg) v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju**

**Table 46 Malonaldehyde concentration (mg/kg) of potato fried in sunflower oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,21±0,02 <sup>aK</sup>	0,21±0,02 <sup>aK</sup>	0,21±0,02 <sup>aK</sup>	0,21±0,02 <sup>aK</sup>	0,21±0,02 <sup>aK</sup>	0,21±0,02 <sup>aK</sup>	0,21±0,02 <sup>aK</sup>
2	0,60±0,01 <sup>aJ</sup>	0,53±0,01 <sup>bJ</sup>	0,48±0,00 <sup>cJ</sup>	0,46±0,01 <sup>dJ</sup>	0,44±0,01 <sup>eJ</sup>	0,41±0,01 <sup>fJ</sup>	0,39±0,01 <sup>gJ</sup>
4	0,92±0,01 <sup>aI</sup>	0,81±0,01 <sup>bI</sup>	0,81±0,01 <sup>bI</sup>	0,67±0,00 <sup>cI</sup>	0,65±0,01 <sup>dI</sup>	0,60±0,01 <sup>eI</sup>	0,58±0,01 <sup>fI</sup>
6	1,01±0,02 <sup>aH</sup>	0,83±0,01 <sup>cH</sup>	0,87±0,01 <sup>bH</sup>	0,72±0,01 <sup>dH</sup>	0,68±0,01 <sup>eH</sup>	0,66±0,01 <sup>fH</sup>	0,64±0,00 <sup>gH</sup>
8	1,10±0,01 <sup>aG</sup>	0,95±0,01 <sup>bG</sup>	0,91±0,02 <sup>cG</sup>	0,84±0,01 <sup>dG</sup>	0,82±0,02 <sup>dG</sup>	0,76±0,01 <sup>eG</sup>	0,71±0,01 <sup>fG</sup>
10	1,21±0,01 <sup>aF</sup>	1,08±0,01 <sup>bF</sup>	1,06±0,01 <sup>cF</sup>	0,98±0,01 <sup>dF</sup>	0,92±0,01 <sup>eF</sup>	0,88±0,00 <sup>fF</sup>	0,81±0,01 <sup>gF</sup>
12	1,38±0,01 <sup>aE</sup>	1,24±0,01 <sup>bE</sup>	1,21±0,02 <sup>cE</sup>	1,11±0,00 <sup>dE</sup>	1,06±0,01 <sup>eE</sup>	1,01±0,01 <sup>fE</sup>	0,91±0,01 <sup>gE</sup>
14	1,62±0,01 <sup>aD</sup>	1,38±0,1 <sup>bD</sup>	1,32±0,01 <sup>cD</sup>	1,21±0,01 <sup>dD</sup>	1,18±0,00 <sup>eD</sup>	1,15±0,01 <sup>fD</sup>	1,08±0,01 <sup>gD</sup>
16	1,82±0,00 <sup>aC</sup>	1,58±0,01 <sup>bC</sup>	1,48±0,01 <sup>cC</sup>	1,3±0,02 <sup>dC</sup>	1,32±0,01 <sup>eC</sup>	1,26±0,01 <sup>fC</sup>	1,11±0,00 <sup>gC</sup>
18	2,04±0,01 <sup>aB</sup>	1,75±0,00 <sup>bB</sup>	1,71±0,01 <sup>cB</sup>	1,67±0,02 <sup>dB</sup>	1,49±0,01 <sup>eB</sup>	1,41±0,00 <sup>fB</sup>	1,32±0,02 <sup>gB</sup>
20	2,22±0,02 <sup>aA</sup>	2,03±0,02 <sup>bA</sup>	1,93±0,01 <sup>cA</sup>	1,82±0,01 <sup>dA</sup>	1,67±0,01 <sup>eA</sup>	1,61±0,01 <sup>fA</sup>	1,49±0,01 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )



**Slika 29 Vsebnost malonaldehida (TBA) v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %**

**Figure 29 The amount of malonaldehyde in potatoes fried in sunflower oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %**

Pri enakem deležu polarnih spojin (25 %) (slika 29) vzorci vsebujejo od 1,2 do 1,6 mg/kg malonaldehida.

#### 4.2.6 Določanje vsebnosti akrilamida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju

Rezultati analiz vsebnosti akrilamida v ocvrtem krompirčku so predstavljeni v preglednici 47.

**Preglednica 47** Vsebnost akrilamida ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju  
**Table 47** Acrylamide concentration ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) of potato fried in sunflower oil

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	184±7 <sup>aK</sup>	184±7 <sup>aK</sup>	184±7 <sup>aK</sup>	184±7 <sup>aK</sup>	184±7 <sup>aK</sup>	184±7 <sup>aK</sup>	184±8 <sup>aJ</sup>
2	234±8 <sup>aJ</sup>	213±4 <sup>bJ</sup>	198±8 <sup>cJ</sup>	193±2 <sup>cdJ</sup>	192±5 <sup>cdJ</sup>	193±3 <sup>cdJ</sup>	185±8 <sup>dJ</sup>
4	285±6 <sup>aI</sup>	230±6 <sup>bI</sup>	224±3 <sup>bcl</sup>	218±6 <sup>cdI</sup>	211±7 <sup>deI</sup>	204±3 <sup>efI</sup>	196±4 <sup>fI</sup>
6	341±9 <sup>aH</sup>	303±3 <sup>bH</sup>	258±4 <sup>eH</sup>	239±3 <sup>dH</sup>	225±3 <sup>eH</sup>	217±3 <sup>efH</sup>	213±3 <sup>fH</sup>
8	402±5 <sup>aG</sup>	344±7 <sup>bG</sup>	308±5 <sup>cG</sup>	285±4 <sup>dG</sup>	261±1 <sup>eG</sup>	258±2 <sup>eG</sup>	246±3 <sup>fG</sup>
10	508±8 <sup>aF</sup>	432±1 <sup>bF</sup>	364±1 <sup>cF</sup>	338±5 <sup>dF</sup>	300±5 <sup>eF</sup>	286±3 <sup>fF</sup>	279±4 <sup>fF</sup>
12	643±6 <sup>aE</sup>	614±5 <sup>bE</sup>	502±6 <sup>cE</sup>	459±7 <sup>dE</sup>	398±4 <sup>eE</sup>	368±3 <sup>fE</sup>	353±3 <sup>gE</sup>
14	931±6 <sup>ad</sup>	882±6 <sup>bd</sup>	762±2 <sup>cd</sup>	684±2 <sup>dd</sup>	495±8 <sup>ed</sup>	465±3 <sup>fd</sup>	435±4 <sup>gd</sup>
16	1031±7 <sup>aC</sup>	984±8 <sup>bC</sup>	931±4 <sup>cC</sup>	852±3 <sup>dC</sup>	628±6 <sup>eC</sup>	588±5 <sup>fC</sup>	553±2 <sup>gC</sup>
18	1199±9 <sup>aB</sup>	1074±3 <sup>bB</sup>	970±3 <sup>eB</sup>	907±6 <sup>dB</sup>	663±2 <sup>EB</sup>	615±5 <sup>FB</sup>	590±4 <sup>gB</sup>
20	1265±9 <sup>aA</sup>	1187±3 <sup>bA</sup>	1067±2 <sup>cA</sup>	964±7 <sup>dA</sup>	782±4 <sup>eA</sup>	725±4 <sup>fA</sup>	704±4 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-K vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

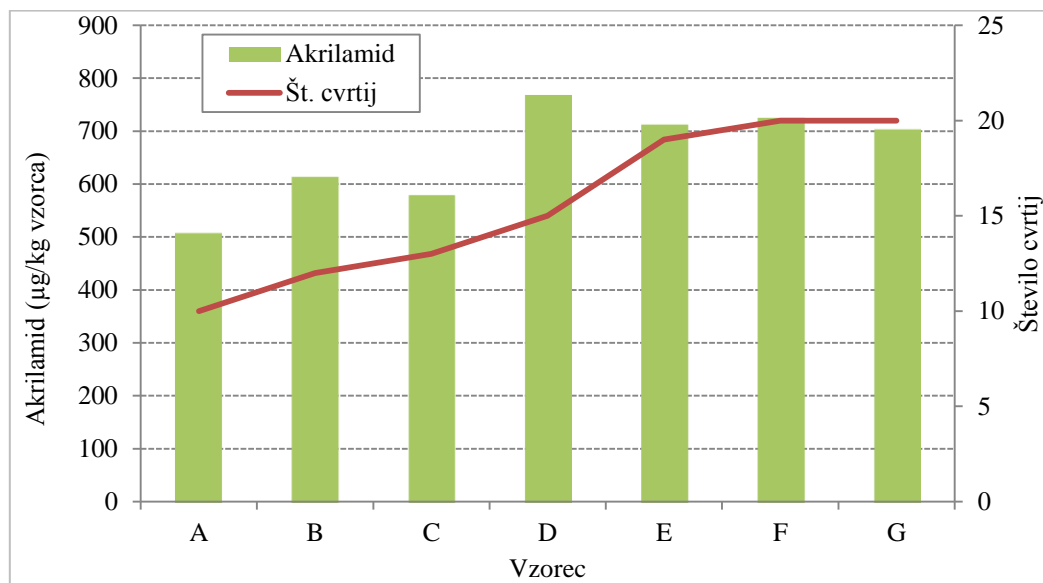
Vsebnost akrilamida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju statistično značilno narašča s številom cvrtij.

Do 10. cvrtja narašča počasneje, vendar so med vzorci statistično značilne razlike ( $p < 0,05$ ).

Po 10. cvrtju začne vsebnost akrilamida hitreje naraščati, še posebej v kontrolnem vzorcu (A), počasneje pa v vzorcih z dodanimi sintetičnimi antioksidanti (B, C) in vzorcu z dodanimi tokoferoli (D).

Vsebnost akrilamida naraste iz 184±7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pred začetkom cvrtja do 1265±9  $\mu\text{g}/\text{kg}$  v kontrolnem vzorcu (A) in do 704±4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) ob koncu cvrtja, kar pomeni, da v enakem času v krompirčku ocvrtem v vzorcu G nastane 44 % manj akrilamida v primerjavi s krompirčkom ocvrtem v vzorcu A.





**Slika 30** Vsebnost akrilamida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 30** The amount of acrylamide in potatoes fried in sunflower oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Pri 25 % deležu polarnih spojin vzorci vsebujejo različne vsebnosti akrilamida zaradi dodatka antioksidantov in zaradi tega, ker so se olja različno dolgo cvrla. V vzorcih B, D, E, F in G je največja priporočena vsebnost akrilamida, ki znaša 600 µg/kg (Evropska komisija, 2011) presežena.

#### 4.2.7 Senzorična analize krompirčka ocvrtega v sončničnem olju

Rezultati senzorične analize krompirčka ocvrtega v sončničnem olju so prikazani v preglednicah 48, 49, 50, 51 in 52.

Vonj krompirčka ocvrtega v sončničnem olju (preglednica 48) se statistično značilno ( $P < 0,05$ ) slabša z naraščajočim številom cvrtij, v vzorcu krompirčka ocvrtega v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A) hitreje kot v vzorcih krompirčka ocvrtih v sončničnem olju z dodatkom antioksidantov (B-G).

Vonj krompirčka ocvrtega v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A) se začne slabšati že po 4. cvrtju.

Vonj krompirčka ocvrtega v vzorcih sončničnega olja z dodanimi antioksidanti (B-G) se začne slabšati kasneje, najkasneje v vzorcih krompirčka ocvrtih v sončničnem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov.

**Preglednica 48**                      **Senzorična ocena (1-7) vonja krompirčka ocvrtega v sončničnem olju**  
**Table 48**                                **Sensory evaluation (1-7) of odour of potato fried in sunflower oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
2	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
4	6,20±0,45 <sup>cB</sup>	6,60±0,55 <sup>bAB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
6	5,80±0,45 <sup>cB</sup>	6,20±0,45 <sup>bB</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
8	5,20±0,45 <sup>cC</sup>	5,60±0,55 <sup>cC</sup>	6,40±0,55 <sup>bBC</sup>	6,60±0,55 <sup>abAB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
10	5,00±0,71 <sup>cC</sup>	5,40±0,55 <sup>cCD</sup>	6,00±0,00 <sup>bCD</sup>	6,20±0,45 <sup>bBC</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
12	4,20±0,45 <sup>dD</sup>	5,00±0,00 <sup>cDE</sup>	5,60±0,55 <sup>bDE</sup>	6,00±0,00 <sup>bC</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
14	4,00±0,00 <sup>eD</sup>	4,60±0,55 <sup>dEF</sup>	5,20±0,45 <sup>cE</sup>	5,80±0,45 <sup>bC</sup>	6,20±0,45 <sup>bB</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>
16	3,80±0,45 <sup>dDE</sup>	4,20±0,45 <sup>cdFG</sup>	4,60±0,55 <sup>cF</sup>	5,20±0,45 <sup>bD</sup>	6,00±0,00 <sup>aC</sup>	6,40±0,55 <sup>aB</sup>	6,20±0,45 <sup>aB</sup>
18	3,40±0,55 <sup>eEF</sup>	4,00±0,00 <sup>dG</sup>	4,40±0,55 <sup>dFG</sup>	5,00±0,00 <sup>cDE</sup>	5,60±0,55 <sup>bC</sup>	6,00±0,00 <sup>abC</sup>	6,20±0,45 <sup>aB</sup>
20	3,20±0,45 <sup>dF</sup>	3,80±0,45 <sup>cG</sup>	4,00±0,00 <sup>cG</sup>	4,60±0,55 <sup>bE</sup>	5,00±0,71 <sup>bD</sup>	5,80±0,45 <sup>aC</sup>	6,00±0,00 <sup>aB</sup>

a-e vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-G vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Vzorci krompirčka ocvrti v sončničnem olju dosežejo optimalno barvo po 4. cvrtju (preglednica 49).

Barva krompirčka ocvrtega v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov se hitro začne spreminjat (potemni), ob koncu cvrtja je pretemna.

Razlike med vzorci ocvrtega krompirčka postanejo statistično značilne ( $p < 0,05$ ) šele po 12. cvrtju.

Ob koncu cvrtja imajo najlepšo barvo vzorci krompirčka ocvrti v sončničnem olju z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F, G), sledijo vzorci krompirčka ocvrti v sončničnem olju z dodatkom tokoferolov (D) in sintetičnih antioksidantov (B, C), najtemnejšo barvo razvije krompirček ocvrt v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A).

**Preglednica 49**                      **Senzorična ocena (1-4-7) barve krompirčka ocvrtega v sončničnem olju**  
**Table 49**                                **Sensory evaluation (1-4-7) of colour of potato fried in sunflower oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	1,40±0,55 <sup>al</sup>	1,40±0,55 <sup>aH</sup>	1,40±0,55 <sup>aG</sup>	1,40±0,55 <sup>aG</sup>	1,40±0,55 <sup>aD</sup>	1,40±0,55 <sup>aE</sup>	1,40±0,55 <sup>aE</sup>
2	2,20±0,45 <sup>ch</sup>	2,40±0,55 <sup>bcH</sup>	3,20±0,45 <sup>abF</sup>	3,40±0,55 <sup>aF</sup>	2,80±0,84 <sup>abcC</sup>	3,00±0,71 <sup>abcd</sup>	3,00±0,71 <sup>abcd</sup>
4	3,60±0,55 <sup>aG</sup>	3,60±0,55 <sup>aG</sup>	4,00±0,00 <sup>aE</sup>	3,80±0,45 <sup>aEF</sup>	3,80±0,45 <sup>aB</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>
6	4,00±0,00 <sup>aFG</sup>	4,00±0,00 <sup>aFG</sup>	4,00±0,00 <sup>aE</sup>	4,00±0,00 <sup>aDE</sup>	4,00±0,00 <sup>aB</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>
8	4,40±0,55 <sup>aEF</sup>	4,20±0,45 <sup>aEFG</sup>	4,20±0,45 <sup>aDE</sup>	4,00±0,00 <sup>aDE</sup>	4,00±0,00 <sup>aB</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>
10	4,80±0,45 <sup>aDE</sup>	4,40±0,55 <sup>abEF</sup>	4,40±0,55 <sup>abDE</sup>	4,00±0,00 <sup>bDE</sup>	4,00±0,00 <sup>bB</sup>	4,00±0,00 <sup>bC</sup>	4,00±0,00 <sup>bC</sup>
12	5,20±0,45 <sup>aD</sup>	4,80±0,45 <sup>abDE</sup>	4,60±0,55 <sup>bcD</sup>	4,40±0,55 <sup>bcdCD</sup>	4,20±0,45 <sup>cdB</sup>	4,00±0,00 <sup>dc</sup>	4,00±0,00 <sup>dc</sup>
14	5,80±0,45 <sup>aC</sup>	5,40±0,55 <sup>abCD</sup>	5,20±0,45 <sup>bcC</sup>	4,80±0,45 <sup>cdC</sup>	4,40±0,55 <sup>deB</sup>	4,00±0,00 <sup>ec</sup>	4,00±0,00 <sup>ec</sup>
16	6,40±0,55 <sup>aB</sup>	6,00±0,71 <sup>abBC</sup>	5,60±0,55 <sup>bcC</sup>	5,40±0,55 <sup>bcB</sup>	5,20±0,45 <sup>cA</sup>	4,40±0,55 <sup>dBc</sup>	4,20±0,45 <sup>dBc</sup>
18	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>	6,60±0,55 <sup>aAB</sup>	6,20±0,45 <sup>abB</sup>	5,80±0,45 <sup>bcAB</sup>	5,20±0,45 <sup>cdA</sup>	4,80±0,45 <sup>dB</sup>	4,60±0,55 <sup>dB</sup>
20	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>	6,20±0,45 <sup>bA</sup>	5,60±0,55 <sup>cA</sup>	5,40±0,55 <sup>cA</sup>	5,20±0,45 <sup>cA</sup>

a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-G vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

**Preglednica 50**                      **Senzorična ocena (0-5) žarkosti krompirčka ocvrtega v sončničnem olju**  
**Table 50**                                **Sensory evaluation (0-5) of rancidity of potato fried in sunflower oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,00±0,00 <sup>aH</sup>	0,00±0,00 <sup>aH</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>
2	0,00±0,00 <sup>aH</sup>	0,00±0,00 <sup>aH</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>
4	0,60±0,55 <sup>aG</sup>	0,60±0,55 <sup>aG</sup>	0,40±0,55 <sup>abDE</sup>	0,20±0,45 <sup>abEF</sup>	0,00±0,00 <sup>bD</sup>	0,00±0,00 <sup>bE</sup>	0,00±0,00 <sup>bE</sup>
6	1,40±0,55 <sup>aF</sup>	1,00±0,71 <sup>abFG</sup>	0,60±0,55 <sup>bcDE</sup>	0,40±0,55 <sup>bcEF</sup>	0,00±0,00 <sup>cD</sup>	0,00±0,00 <sup>cE</sup>	0,00±0,00 <sup>cE</sup>
8	1,80±0,45 <sup>aEF</sup>	1,40±0,55 <sup>aEF</sup>	0,80±0,45 <sup>bcD</sup>	0,40±0,55 <sup>bcEF</sup>	0,00±0,00 <sup>cD</sup>	0,00±0,00 <sup>cE</sup>	0,00±0,00 <sup>cE</sup>
10	2,00±0,00 <sup>aDE</sup>	1,80±0,45 <sup>aDE</sup>	1,40±0,55 <sup>abC</sup>	0,80±0,45 <sup>bDE</sup>	0,40±0,55 <sup>bcD</sup>	0,40±0,55 <sup>bDE</sup>	0,20±0,45 <sup>bDE</sup>
12	2,40±0,55 <sup>aCD</sup>	2,00±0,00 <sup>abCD</sup>	1,60±0,55 <sup>bcB</sup>	1,20±0,45 <sup>cdD</sup>	0,80±0,45 <sup>deC</sup>	0,80±0,45 <sup>deCD</sup>	0,40±0,55 <sup>eDE</sup>
14	2,80±0,45 <sup>aC</sup>	2,40±0,55 <sup>abC</sup>	2,00±0,71 <sup>bB</sup>	1,80±0,45 <sup>bC</sup>	0,80±0,45 <sup>cC</sup>	0,80±0,45 <sup>cCD</sup>	0,60±0,55 <sup>cCD</sup>
16	3,40±0,55 <sup>aB</sup>	3,20±0,45 <sup>aB</sup>	2,80±0,45 <sup>abA</sup>	2,40±0,55 <sup>bB</sup>	1,40±0,55 <sup>cB</sup>	1,20±0,45 <sup>cBC</sup>	1,00±0,00 <sup>cBC</sup>
18	4,00±0,00 <sup>aA</sup>	3,40±0,55 <sup>abB</sup>	2,80±0,45 <sup>bcA</sup>	2,60±0,55 <sup>cB</sup>	1,80±0,45 <sup>dB</sup>	1,60±0,55 <sup>dB</sup>	1,40±0,55 <sup>dB</sup>
20	4,20±0,45 <sup>aA</sup>	4,00±0,00 <sup>abA</sup>	3,40±0,55 <sup>bcA</sup>	3,20±0,45 <sup>cA</sup>	2,40±0,55 <sup>dA</sup>	2,20±0,45 <sup>dA</sup>	2,00±0,71 <sup>dA</sup>

a-e vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-H vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Žarkost vseh vzorcev ocvrtega krompirčka v sončničnem olju narašča s številom cvrtij, razlike med vzorci postanejo statistično značilne ( $p < 0,05$ ) med 4. in 6. cvrtjem (preglednica 50).

Po 20. cvrtju je najbolj žarek vzorec krompirčka ocvrt v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A), kot najboljši (rahlo žarek) je bil ocenjen vzorec krompirčka ocvrt v sončničnem olju z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

Občutek oljivosti ocvrtega krompirčka se pojavi šele po 12. cvrtju, nekateri vzorci v tistem času dosežejo 25 % polarnih spojin (preglednica 51).

Občutek oljivosti ocvrtega krompirčka statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s številom cvrtij, razlike med vzorci postanejo statistično značilne po 16. cvrtju. Po nastanku 25 % polarnih spojin začne občutek oljivosti v vzorcih strmo naraščati.

**Preglednica 51**                      **Senzorična ocena (0-5) oljivosti krompirčka ocvrtega v sončničnem olju**  
**Table 51**                              **Sensory evaluation (0-5) of oiliness of potato fried in sunflower oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
2	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
4	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,20±0,45 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
6	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
8	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,20±0,45 <sup>aDE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,20±0,45 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
10	0,40±0,55 <sup>aE</sup>	0,20±0,45 <sup>aDE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,20±0,45 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
12	1,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,60±0,55 <sup>abD</sup>	0,40±0,55 <sup>bcC</sup>	0,20±0,45 <sup>bcC</sup>	0,00±0,00 <sup>cE</sup>	0,00±0,00 <sup>cB</sup>	0,00±0,00 <sup>cB</sup>
14	1,40±0,55 <sup>aCD</sup>	1,20±0,45 <sup>aC</sup>	1,20±0,45 <sup>aB</sup>	1,00±0,00 <sup>abB</sup>	0,60±0,55 <sup>bD</sup>	0,00±0,00 <sup>cB</sup>	0,00±0,00 <sup>cB</sup>
16	1,80±0,45 <sup>aC</sup>	1,60±0,55 <sup>abC</sup>	1,60±0,55 <sup>abB</sup>	1,20±0,45 <sup>abB</sup>	1,00±0,00 <sup>bC</sup>	0,40±0,55 <sup>cB</sup>	0,20±0,45 <sup>cB</sup>
18	2,80±0,45 <sup>aB</sup>	2,60±0,55 <sup>aB</sup>	2,40±0,55 <sup>aA</sup>	2,20±0,45 <sup>aA</sup>	1,40±0,55 <sup>bB</sup>	1,20±0,45 <sup>bB</sup>	1,00±0,00 <sup>bA</sup>
20	3,80±0,45 <sup>aA</sup>	3,40±0,55 <sup>abA</sup>	2,80±0,45 <sup>bcA</sup>	2,40±0,55 <sup>cdA</sup>	1,80±0,45 <sup>deA</sup>	1,40±0,55 <sup>eA</sup>	1,20±0,45 <sup>eA</sup>

a-e vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-E vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Skupni vtis (preglednica 52) je po 20. cvrtjih najslabše ocenjen v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A); v času, ko isto olje doseže 25 % delež polarnih spojin (po 10. cvrtju) je skupni vtis ocenjen dobro.

Po 20. cvrtjih je vrstni red ocen skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v sončničnem olju naslednji: A<B<C<D<E<F<G.

Do 4. cvrtja so vsi vzorci ocvrtega krompirčka ocenjeni slabše, kljub svežini olja, zaradi neznačilne presvetle barve krompirčka.

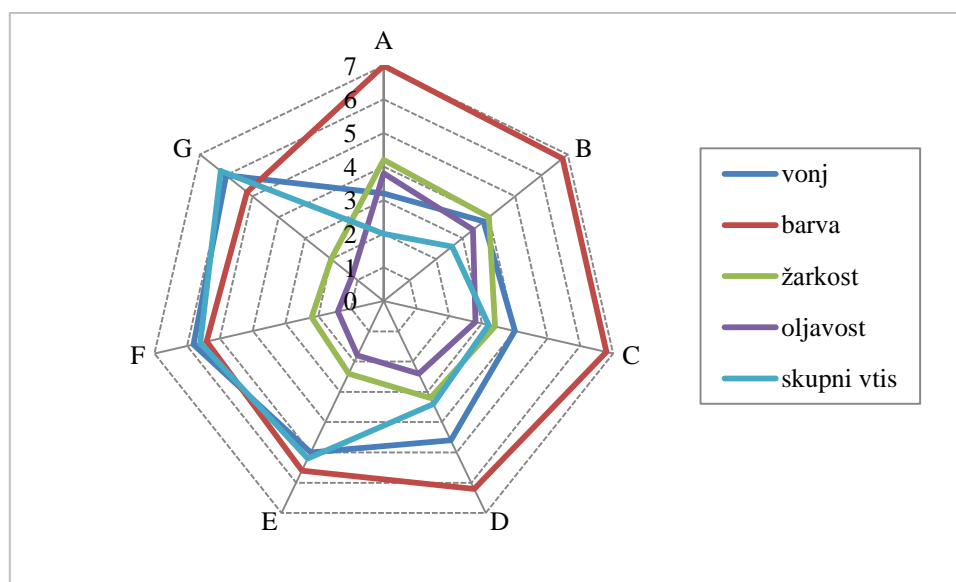
**Preglednica 52**                      **Senzorična ocena (1-7) skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v sončničnem olju**

**Table 52**                                **Sensory evaluation (1-7) of overall impression of potato fried in sunflower oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	5,20±0,45 <sup>aC</sup>	5,20±0,45 <sup>aBC</sup>	5,00±0,00 <sup>aDE</sup>	5,20±0,45 <sup>aB</sup>	5,00±0,00 <sup>aF</sup>	5,00±0,00 <sup>aD</sup>	5,20±0,45 <sup>aC</sup>
2	5,20±0,45 <sup>aC</sup>	5,40±0,55 <sup>aB</sup>	5,40±0,55 <sup>aCD</sup>	5,40±0,55 <sup>aB</sup>	5,60±0,55 <sup>aDE</sup>	5,60±0,55 <sup>aCD</sup>	5,60±0,55 <sup>aC</sup>
4	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>
6	6,40±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>
8	6,00±0,71 <sup>bAB</sup>	6,60±0,55 <sup>abA</sup>	6,40±0,55 <sup>abAB</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
10	5,40±0,55 <sup>cBC</sup>	5,60±0,55 <sup>cB</sup>	6,20±0,45 <sup>bAB</sup>	6,60±0,55 <sup>abA</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>abAB</sup>
12	4,80±0,45 <sup>cCD</sup>	5,00±0,71 <sup>cBC</sup>	5,80±0,45 <sup>bBC</sup>	6,20±0,45 <sup>abA</sup>	6,60±0,55 <sup>aAB</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>
14	4,20±0,45 <sup>cDE</sup>	4,60±0,89 <sup>bcC</sup>	5,00±0,71 <sup>bcDE</sup>	5,40±0,55 <sup>bb</sup>	6,20±0,45 <sup>aBC</sup>	6,60±0,55 <sup>aAB</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>
16	3,60±0,55 <sup>dE</sup>	3,80±0,45 <sup>cdD</sup>	4,40±0,55 <sup>bcE</sup>	5,00±0,71 <sup>bb</sup>	6,00±0,00 <sup>aCD</sup>	6,40±0,55 <sup>aAB</sup>	6,60±0,55 <sup>aAB</sup>
18	2,80±0,45 <sup>dF</sup>	3,20±0,45 <sup>dDE</sup>	3,40±0,55 <sup>cdF</sup>	4,00±0,71 <sup>cC</sup>	5,60±0,55 <sup>bDE</sup>	6,00±0,71 <sup>abBC</sup>	6,40±0,55 <sup>aAB</sup>
20	2,00±0,71 <sup>eG</sup>	2,60±0,55 <sup>deE</sup>	3,20±0,45 <sup>cdF</sup>	3,40±0,55 <sup>cC</sup>	5,20±0,45 <sup>bEF</sup>	5,60±0,55 <sup>abCD</sup>	6,20±0,45 <sup>aB</sup>

a-e vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-G vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )



**Slika 31**                                **Ocena senzoričnih lastnosti krompirčka ocvrtega v sončničnem olju po 20. cvrtjih**

**Figure 31**                                **Assessment of sensory parameters of potato fried in sunflower oil after 20<sup>th</sup> fryings**

Ocene senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtih v sončničnem olju po 20. cvrtjih so prikazane na sliki 31.

Najboljšo oceno vonja dosežejo vzorci krompirčka ocvrti v sončničnem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (F, G).

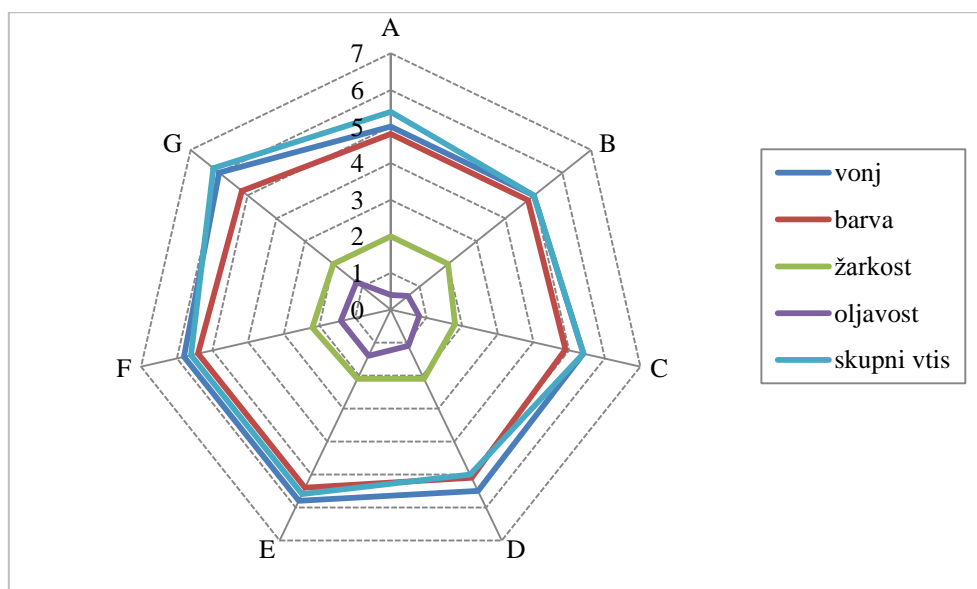
Po 20. cvrtjih je barva vseh vzorcev krompirčka ocvrtih v sončničnem olju pretemna, še posebej barva krompirčka ocvrtega v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A) in z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C).

Vzorci krompirčka ocvrti v sončničnem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F, G) so manj žarki v primerjavi z ostalimi vzorci (A, B, C, D).

Ocena oljavosti je po 20. cvrtjih nižja v vzorcih krompirčka ocvrtih v repičnem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F in G).

V oceni skupnega vtisa so tudi velike razlike med vzorci, saj imajo vzorci ocvrtega krompirčka v olju brez dodatka antioksidantov (A) in z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C), slabše ocenjene vse senzorične lastnosti: vonj, barvo, žarkost in oljavost.

Med vsemi vzorci je skupno najboljše senzorično ocenjen vzorec krompirčka ocvrt v sončničnem olju z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).



**Slika 32** Ocena senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtih v sončničnem olju pri enakem deležu polarnih spojin v olju (25 %)

**Figure 32** Assessment of sensory parameters of potato samples fried in sunflower oil at the same amount of polar compounds in oil (25 %)

Ocene senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtih v sončničnem olju pri enaki količini polarnih spojin so prikazane na sliki 32.

V ocenah vonja, barve, žarkosti in skupnega vtisa vzorcev krompirčka ocvrtih v sončničnem olju ni velikih razlik pri enaki količini polarnih spojin (25 %) v olju. Vzorci nimajo več najbolj značilnega vonja, so malo pretemni, žarkost je zaznavna, skupni vtis tudi ni najboljši.

Največja je razlika v ocenah oljavosti in sicer so vzorci krompirčka ocvrti v sončničnem olju z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F, G) malo bolj oljavi od vzorcev krompirčka ocvrtih v sončničnem olju brez dodatka antioksidantov (A) in oljih z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C).

#### 4.2.8 Korelacijska analiza

V preglednici 53 so predstavljeni Pearsonovi korelacijski koeficienti ( $r$ ) med instrumentalnimi, kemijskimi in senzoričnimi parametri poskusa.

Kot je razvidno iz preglednice 53, je čas cvrtja v tesni povezavi ( $0,85 < r < 0,98$ ) z deležem polarnih spojin, deležem prostih maščobnih kislin in barvo sončničnega olja ter vsebnostjo malonaldehida, akrilamida in oceno barve v ocvrtem krompirčku.

Najtesnejša povezava je med časom cvrtja in  $a^*$  barvno komponento olja ( $r < 0,98$ ).

Delež polarnih spojin je v zelo tesni povezavi z deležem prostih maščobnih kislin v olju ( $r < 0,99$ ) ter konjugiranimi trieni v olju, ter vsebnostjo malonaldehida in akrilamida v ocvrtem krompirčku ( $0,96 < r < 0,99$ ).

Od senzoričnih lastnosti krompirčka kaže najtesnejšo povezavo s parametri olja žarkost, ki je v zelo tesni povezavi z deležem polarnih spojin, deležem prostih maščobnih kislin in vsebnostjo konjugiranih trienov v olju.

Tudi vsebnost akrilamida je v tesni povezavi s parametri olja (polarnimi spojinami, prostimi maščobnimi kislinami, konjugiranimi trieni in barvno komponento  $b^*$ ), ter senzoričnimi lastnostmi ocvrtega krompirčka (žarkost, oljavost).

Vsebnost akrilamida v ocvrtem krompirčku je v najtesnejši povezavi z  $b^*$  barvno komponento olja ( $r < 0,97$ ), deležem polarnih spojin ( $r < 0,96$ ) in deležem prostih maščobnih kislin v olju ( $r < 0,95$ ).

Preglednica 53

Pearsonovi korelacijski koeficienti med parametri poskusa, izvedenega na sončničnem olju

Table 53

Pearson correlation coefficients between parameters of trial performed on sunflower oil

	cvrtje	PMK	PS	KD	KT	L*	a*	b*	TBA	AA	vonj	barva	žarkost	oljavost	skupni vtis
<b>sončnično olje</b>															
cvrtje	1,00**	0,89**	0,90**	0,74**	0,88**	-0,93**	0,98**	0,93**	0,94**	0,87**	-0,70**	0,85**	0,79**	0,74**	-0,38**
PMK	-	1,00**	0,99**	0,92**	0,99**	-0,86**	0,94**	0,96**	0,98**	0,95**	-0,89**	0,91**	0,92**	0,82**	-0,56**
PS	-	-	1,00**	0,91**	0,98**	-0,91**	0,95**	0,96**	0,98**	0,96**	-0,90**	0,91**	0,92**	0,82**	-0,56**
KD	-	-	-	1,00**	0,91**	-0,80**	0,81**	0,86**	0,89**	0,85**	-0,88**	0,81**	0,86**	0,75**	-0,55**
KT	-	-	-	-	1,00**	-0,90**	0,93**	0,95**	0,98**	0,94**	-0,88**	0,90**	0,91**	0,80**	-0,55**
L*	-	-	-	-	-	1,00**	-0,96**	-0,87**	-0,92**	-0,81**	0,71**	-0,86**	-0,78**	-0,62**	0,26**
a*	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,95**	0,96**	0,91**	-0,77**	0,88**	0,85**	0,75**	-0,43**
b*	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,97**	0,97**	-0,84**	0,88**	0,90**	0,85**	-0,59**
<b>ocvrt krompirček</b>															
TBA	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,94**	-0,83**	0,90**	0,89**	0,80**	-0,51**
AA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,89**	0,86**	0,93**	0,90**	-0,71**
vonj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,79**	-0,89**	-0,80**	0,72**
barva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,83**	0,78**	-0,47**
žarkost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,83**	-0,68**
oljavost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,75**
skupni vtis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**

\*\* p≤0,001 statistično zelo visoko značilno; \* p≤0,01 statistično visoko značilno; p≤0,05 statistično značilno;



#### 4.3 ANALIZE SOJINEGA OLJA IN KROMPIRČKA, OCVRTEGA V SOJINEM OLJU

V preglednici 54 so podani osnovni statistični parametri instrumentalnih, kemijskih in senzoričnih parametrov sojinega olja in krompirčka ocvrtega v sojinem olju.

**Preglednica 54** Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sojinega olja in krompirčka ocvrtega v sojinem olju

**Table 54** Basic statistical parameters of instrumental, chemical and sensory parameters of soy oil and potato fried in soy oil

Parameter oz. lastnost	n	$\bar{x}$	min	max	s.o.	KV (%)
<b>olja</b>						
polarne spojine (%)	210	18,87	7,00	38,00	8,62	46
proste maščobne kisline (%)	210	0,43	0,03	1,34	0,32	74
konjugirani dieni	210	6,23	2,74	12,33	2,37	38
konjugirani trieni	210	3,11	1,52	6,23	1,32	43
L*	210	71,17	53,41	93,18	13,37	19
a*	210	-0,24	-3,58	3,05	1,91	-805
b*	210	16,40	14,27	20,35	1,55	9
<b>ocvrt krompirček</b>						
TBA vrednost (mg/kg)	210	1,06	0,20	2,05	0,46	43
vonj (1-7 točk)	350	6,11	2,00	7,00	1,13	18
barva (1-4-7 točk)	350	4,18	1,00	7,00	1,30	31
žarkost (0-5 točk)	350	1,13	0,00	4,00	1,20	107
oljavost (0-5 točk)	350	0,47	0,00	3,00	0,9	168
skupni vtis (1-7 točk)	350	5,75	2,00	7,00	1,16	20

n - število obravnavanj;  $\bar{x}$  - povprečna vrednost; min – minimalna vrednost; max – maksimalna vrednost; s.o. – standardni odklon; KV (%) – koeficient variabilnosti

Iz preglednice 54 je razvidno, da so vsi parametri olja in ocvrtega krompirčka zelo variabilni. Velik koeficient variabilnosti izvira iz narave poskusa, saj smo v olje dodali 6 različnih antioksidantov, vsi vzorci so bili podvrženi 18 kratnemu cvrtju, kar je razvidno iz statistično značilnih ( $p < 0,05$ ) virov variabilnosti (preglednica 55).

**Preglednica 55** Viri variabilnosti za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sojinega olja in krompirčka ocvrtega v sojinem olju

**Table 55** Sources of variability of instrumental, chemical and sensory parameters of soy oil and potato fried in soy oil

parameter	vir variabilnosti (p-vrednost)		
	cvrtje	vzorec	cvrtje x vzorec
<b>olje</b>			
polarne spojine (%)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
proste maščobne kisline (%)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
konjugirani dieni	< 0,001	< 0,001	< 0,001
konjugirani trieni	< 0,001	< 0,001	< 0,001
L*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
a*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
b*	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<b>ocvrt krompirček</b>			
vsebnost malonaldehida (mg/kg)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
vonj (1-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
barva (1-4-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
žarkost (0-5 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
oljavost (0-5 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
skupni vtis (1-7 točk)	< 0,001	< 0,001	< 0,001

p≤0,001 statistično zelo visoko značilen vpliv; p≤0,01 statistično visoko značilen vpliv; p≤0,05 statistično značilen vpliv; p>0,05 statistično neznačilen vpliv

#### 4.3.1 Določanje deleža polarnih spojin v sojinem olju

V preglednici 56 so podani rezultati določanja deleža polarnih spojin v sojinem olju. V sojinem olju delež polarnih spojine statistično značilno ( $p < 0,05$ ) in konstantno narašča z naraščajočim številom cvrtij. Že po 4. cvrtju je razlika med vzorci statistično značilna ( $p < 0,05$ ).

V vzorcih sojinega olja smo cvrli krompirček 18 krat, ker je takrat najboljši vzorec (G) dosegel 25 % delež polarnih spojin. Kontrolni vzorec (A) ta delež doseže med 8. in 10. cvrtjem, vzorca sojinega olja z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C) med 10 in 12. cvrtjem, sojino olje z dodatkom tokoferolov (D) po 12. cvrtju, vzorci sojinega olja z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F, G) pa med 16. in 18. cvrtjem.

Po 18. cvrtju kontrolni vzorec (A) vsebuje 50 % več polarnih spojin v primerjavi z vzorcem z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G). Po 18. cvrtjih je vrstni red količine nastalih polarnih spojin v vzorcih sojinega olja naslednji:  $G < F < E < D < C < B < A$ .

**Preglednica 56**

**Delež polarnih spojin (%) v sojinem olju med cvrtjem**

**Table 56**

**The amount of polar compounds (%) in soy oil during frying**

Št. cvrtij	Dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	7,00±0,00 <sup>aJ</sup>	7,00±0,00 <sup>aJ</sup>	7,00±0,00 <sup>aJ</sup>	7,00±0,00 <sup>aJ</sup>	7,00±0,00 <sup>aJ</sup>	7,00±0,00 <sup>aJ</sup>	7,00±0,00 <sup>aJ</sup>
2	10,00±0,00 <sup>aI</sup>	9,00±0,00 <sup>bI</sup>	9,00±0,00 <sup>bI</sup>	8,50±0,00 <sup>cI</sup>	8,00±0,00 <sup>dI</sup>	8,00±0,00 <sup>dI</sup>	8,00±0,00 <sup>dI</sup>
4	15,00±0,00 <sup>aH</sup>	13,00±0,00 <sup>bH</sup>	12,00±0,00 <sup>cH</sup>	11,00±0,00 <sup>dH</sup>	10,50±0,00 <sup>eH</sup>	10,00±0,00 <sup>fH</sup>	10,00±0,00 <sup>fH</sup>
6	18,83±0,29 <sup>aG</sup>	17,00±0,00 <sup>bG</sup>	16,50±0,00 <sup>cG</sup>	15,00±0,00 <sup>dG</sup>	13,00±0,00 <sup>eG</sup>	12,50±0,00 <sup>fG</sup>	12,00±0,00 <sup>gG</sup>
8	22,50±0,00 <sup>aF</sup>	19,50±0,00 <sup>bF</sup>	18,00±0,00 <sup>cF</sup>	17,33±0,29 <sup>dF</sup>	15,00±0,00 <sup>eF</sup>	14,00±0,00 <sup>fF</sup>	13,50±0,00 <sup>gF</sup>
10	26,00±0,00 <sup>aE</sup>	22,50±0,00 <sup>bE</sup>	21,50±0,00 <sup>cE</sup>	20,50±0,00 <sup>dE</sup>	17,50±0,00 <sup>eE</sup>	17,00±0,00 <sup>fE</sup>	15,33±0,29 <sup>gE</sup>
12	29,50±0,00 <sup>aD</sup>	28,00±0,00 <sup>bD</sup>	26,00±0,00 <sup>cD</sup>	24,50±0,00 <sup>dD</sup>	20,00±0,00 <sup>eD</sup>	19,50±0,00 <sup>fD</sup>	18,00±0,00 <sup>gD</sup>
14	32,50±0,00 <sup>aC</sup>	30,17±0,29 <sup>bC</sup>	28,50±0,00 <sup>cC</sup>	27,00±0,00 <sup>dC</sup>	22,50±0,00 <sup>eC</sup>	22,00±0,00 <sup>fC</sup>	20,50±0,00 <sup>gC</sup>
16	36,00±0,00 <sup>aB</sup>	33,00±0,00 <sup>bB</sup>	31,00±0,00 <sup>cB</sup>	29,50±0,00 <sup>dB</sup>	25,00±0,00 <sup>eB</sup>	24,00±0,00 <sup>fB</sup>	23,00±0,00 <sup>gB</sup>
18	38,00±0,00 <sup>aA</sup>	35,00±0,00 <sup>bA</sup>	33,00±0,00 <sup>cA</sup>	31,50±0,00 <sup>dA</sup>	26,50±0,00 <sup>eA</sup>	25,83±0,29 <sup>fA</sup>	25,00±0,00 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

#### 4.3.2 Določanje deleža prostih maščobnih kislin v sojinem olju

Delež prostih maščobnih kislin nastalih med cvrtjem sojinega olja je prikazan v preglednici 57.

**Preglednica 57**

**Delež prostih maščobnih kislin (%) v sojinem olju med cvrtjem**

**Table 57**

**The amount of free fatty acids (%) in soy oil during frying**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,07±0,01 <sup>aJ</sup>	0,06±0,01 <sup>abJ</sup>	0,05±0,01 <sup>bJ</sup>	0,06±0,01 <sup>bJ</sup>	0,04±0,01 <sup>cJ</sup>	0,03±0,01 <sup>cJ</sup>	0,06±0,01 <sup>bI</sup>
2	0,22±0,01 <sup>aI</sup>	0,19±0,01 <sup>bI</sup>	0,11±0,01 <sup>cI</sup>	0,10±0,01 <sup>cI</sup>	0,09±0,01 <sup>dI</sup>	0,08±0,01 <sup>dI</sup>	0,08±0,01 <sup>dH</sup>
4	0,27±0,02 <sup>aH</sup>	0,21±0,01 <sup>bH</sup>	0,17±0,02 <sup>cH</sup>	0,18±0,01 <sup>cH</sup>	0,15±0,00 <sup>dH</sup>	0,16±0,01 <sup>cd</sup>	0,13±0,01 <sup>eG</sup>
6	0,38±0,02 <sup>aG</sup>	0,29±0,01 <sup>bG</sup>	0,22±0,01 <sup>cG</sup>	0,23±0,01 <sup>cG</sup>	0,19±0,01 <sup>eG</sup>	0,18±0,01 <sup>eG</sup>	0,15±0,01 <sup>fG</sup>
8	0,51±0,02 <sup>aF</sup>	0,42±0,01 <sup>bF</sup>	0,36±0,01 <sup>cF</sup>	0,32±0,02 <sup>dF</sup>	0,27±0,02 <sup>eF</sup>	0,26±0,01 <sup>eF</sup>	0,21±0,01 <sup>fF</sup>
10	0,62±0,01 <sup>aE</sup>	0,55±0,01 <sup>bE</sup>	0,41±0,01 <sup>cE</sup>	0,37±0,01 <sup>dE</sup>	0,31±0,01 <sup>eE</sup>	0,28±0,02 <sup>fE</sup>	0,25±0,01 <sup>gE</sup>
12	0,79±0,02 <sup>aD</sup>	0,68±0,02 <sup>bD</sup>	0,54±0,02 <sup>cD</sup>	0,52±0,01 <sup>cD</sup>	0,43±0,02 <sup>dD</sup>	0,41±0,02 <sup>dD</sup>	0,35±0,01 <sup>eD</sup>
14	0,96±0,02 <sup>aC</sup>	0,82±0,02 <sup>bC</sup>	0,73±0,02 <sup>cC</sup>	0,65±0,02 <sup>dC</sup>	0,57±0,01 <sup>eC</sup>	0,52±0,01 <sup>fC</sup>	0,44±0,03 <sup>gC</sup>
16	1,17±0,02 <sup>aB</sup>	0,94±0,01 <sup>bB</sup>	0,87±0,02 <sup>cB</sup>	0,79±0,02 <sup>dB</sup>	0,68±0,02 <sup>eB</sup>	0,65±0,01 <sup>fB</sup>	0,58±0,02 <sup>gB</sup>
18	1,31±0,03 <sup>aA</sup>	1,23±0,02 <sup>bA</sup>	0,98±0,01 <sup>cA</sup>	0,85±0,04 <sup>dA</sup>	0,76±0,02 <sup>eA</sup>	0,72±0,01 <sup>fA</sup>	0,70±0,01 <sup>fA</sup>

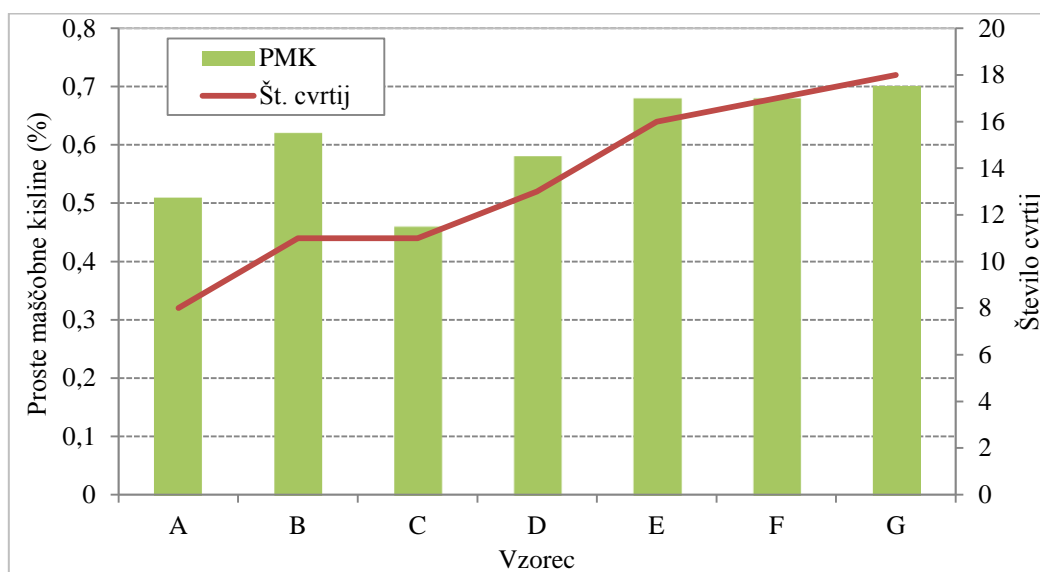
a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

Delež prostih maščobnih kislin statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s številom cvrtij (preglednica 46), statistično značilne ( $p < 0,05$ ) razlike so opazne tudi med vzorci sojinega olja, še posebej po 8. cvrtju.

Z naraščajočim številom cvrtij postajajo razlike med vzorci v deležu prostih maščobnih kislin večje. Po 18. cvrtjih vsebuje najmanj prostih maščobnih kislin vzorec olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G), največ pa kontrolni vzorec (A).

Na sliki 33 so predstavljeni deleži prostih maščobnih kislin v sojinem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %.



**Slika 33** Delež prostih maščobnih kislin (PMK) v vzorcih sojinega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 33** The amount of free fatty acids in potatoes fried in soy oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Pri 25 % deležu polarnih spojin vzorci z dodatkom rožmarinovega ekstrakta (E, F in G) vsebujejo največ prostih maščobnih kislin, najmanj jih vsebuje vzorec z dodatkom TBHQ (C).

Delež prostih maščobnih kislin se v nobenem vzorcu ne približa vsebnosti 2 %, kar je v industriji priporočena meja za zavrženje olja.

Kontrolni vzorec celo pri 38 % polarnih spojin ne doseže meje 2 % prostih maščobnih kislin, ampak le  $1,3 \pm 0,03$  %, kar pomeni, da bi se lahko glede na ta kriterij olje še kar nekaj časa uporabljalo.

### 4.3.3 Določanje vsebnosti konjugiranih dienov in trienov sojinem olju

V preglednici 58 so podani rezultati izračuna specifičnega absorpcijskega koeficienta ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 232 nm v sojinem olju.

**Preglednica 58** Specifični absorpcijski koeficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 232 nm v sojinem olju med cvrtjem

**Table 58** Specific absorbtion coefficient ( $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) at 232 nm in soy oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	2,95±0,02 <sup>aj</sup>	2,91±0,01 <sup>bj</sup>	2,90±0,02 <sup>bj</sup>	2,75±0,01 <sup>dj</sup>	2,81±0,03 <sup>cj</sup>	2,83±0,01 <sup>cj</sup>	2,96±0,02 <sup>aj</sup>
2	5,89±0,02 <sup>al</sup>	4,33±0,02 <sup>bl</sup>	3,84±0,04 <sup>cl</sup>	3,51±0,03 <sup>dl</sup>	3,40±0,02 <sup>el</sup>	3,30±0,01 <sup>fl</sup>	3,20±0,02 <sup>el</sup>
4	6,94±0,03 <sup>ah</sup>	4,95±0,03 <sup>bh</sup>	4,55±0,03 <sup>dh</sup>	4,66±0,01 <sup>ch</sup>	4,50±0,02 <sup>eh</sup>	4,23±0,02 <sup>fh</sup>	3,93±0,01 <sup>gh</sup>
6	8,47±0,03 <sup>ag</sup>	6,43±0,03 <sup>bg</sup>	5,46±0,03 <sup>cg</sup>	5,11±0,02 <sup>dg</sup>	5,05±0,01 <sup>eg</sup>	4,60±0,02 <sup>fg</sup>	4,31±0,02 <sup>gg</sup>
8	9,92±0,03 <sup>af</sup>	7,67±0,05 <sup>bf</sup>	6,08±0,03 <sup>cf</sup>	5,62±0,02 <sup>df</sup>	5,49±0,03 <sup>ef</sup>	5,29±0,01 <sup>ff</sup>	5,20±0,01 <sup>gf</sup>
10	10,25±0,01 <sup>ae</sup>	8,20±0,02 <sup>be</sup>	6,85±0,02 <sup>ce</sup>	5,83±0,01 <sup>de</sup>	5,70±0,02 <sup>ee</sup>	5,55±0,03 <sup>fe</sup>	5,41±0,01 <sup>ge</sup>
12	10,89±0,03 <sup>ad</sup>	8,91±0,02 <sup>bd</sup>	7,33±0,02 <sup>cd</sup>	6,20±0,01 <sup>dd</sup>	6,04±0,03 <sup>ed</sup>	5,77±0,02 <sup>fd</sup>	5,65±0,02 <sup>gd</sup>
14	11,21±0,02 <sup>ac</sup>	9,56±0,03 <sup>bc</sup>	7,65±0,03 <sup>cc</sup>	6,63±0,02 <sup>dc</sup>	6,21±0,01 <sup>ec</sup>	6,06±0,02 <sup>fc</sup>	5,93±0,02 <sup>gc</sup>
16	11,82±0,03 <sup>ab</sup>	10,26±0,02 <sup>bb</sup>	8,64±0,02 <sup>cb</sup>	6,95±0,02 <sup>db</sup>	6,64±0,02 <sup>eb</sup>	6,33±0,02 <sup>fb</sup>	6,24±0,02 <sup>gb</sup>
18	12,30±0,03 <sup>aa</sup>	10,83±0,01 <sup>ba</sup>	9,35±0,02 <sup>ca</sup>	7,50±0,02 <sup>da</sup>	7,17±0,01 <sup>ea</sup>	7,04±0,02 <sup>fa</sup>	6,83±0,02 <sup>ga</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

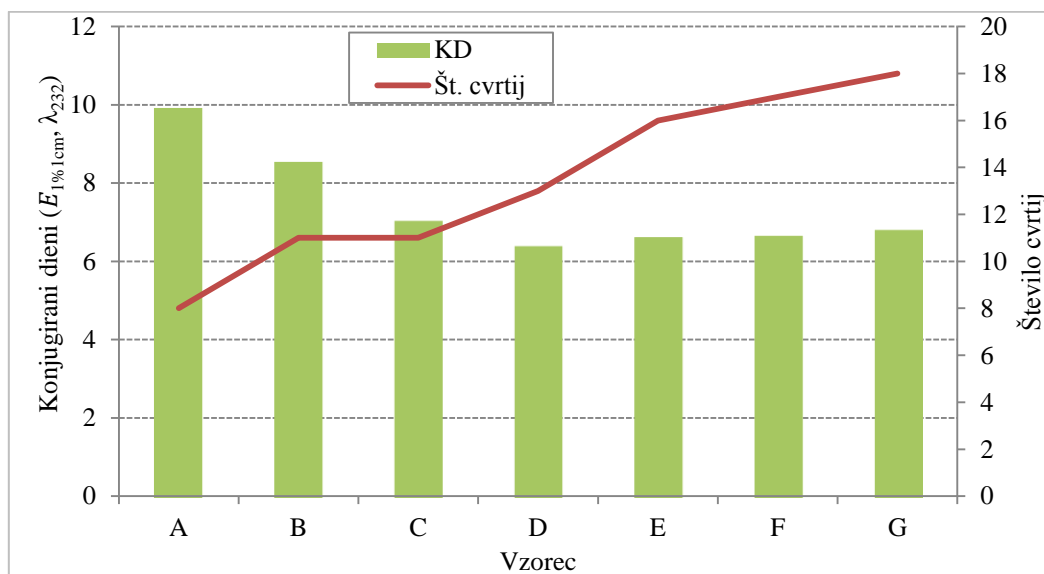
A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Učinek antioksidantov in časa cvrtja na absorpcijo olja pri 232 nm je statistično značilen ( $p < 0,05$ ).

Specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm kontrolnega olja (A) je že po 2. cvrtju statistično značilno ( $p < 0,05$ ) višji v primerjavi z vzorci olj, ki so zaščiteni z dodatkom antioksidantov (B-G).

Vsebnost konjugiranih dienov je po 18. cvrtju najnižja v vzorcu G, sledijo vzorci F, E, D C in B, najvišje vrednosti so izmerjene v vzorcu A (sojino olje brez dodatka antioksidantov).

Pri 25 % deležu polarnih spojin v sojinem olju (slika 34) je vsebnost konjugiranih dienov najvišja v kontrolnem vzorcu (A), sledita vzorca B in C, medtem ko so razlike v vsebnosti konjugiranih dienov med vzorci z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F in G) majhne.



**Slika 34** Vsebnost konjugiranih dienov (KD) v vzorcih sojinega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 34** The amount of conjugated dienes in soy oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %

V preglednici 59 so podani rezultati izračuna specifičnega absorpcijskega koeficienta ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 268 nm, ki meri vsebnost konjugiranih trienov.

**Preglednica 59** Specifični absorpcijski koeficient ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) pri valovni dolžini 268 nm v sojinem olju med cvrtjem

**Table 59** Specific absorption coefficient ( $E_{1cm}^{1\%}$ ) at 268 nm in soy oil during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	1,59±0,01 <sup>aJ</sup>	1,56±0,02 <sup>bcJ</sup>	1,54±0,02 <sup>cJ</sup>	1,55±0,01 <sup>bcJ</sup>	1,57±0,02 <sup>abcJ</sup>	1,56±0,02 <sup>bcl</sup>	1,57±0,02 <sup>abJ</sup>
2	2,22±0,01 <sup>al</sup>	2,05±0,02 <sup>bl</sup>	1,84±0,02 <sup>cl</sup>	1,73±0,02 <sup>dl</sup>	1,68±0,01 <sup>el</sup>	4,68±0,01 <sup>eH</sup>	1,64±0,01 <sup>l</sup>
4	2,84±0,02 <sup>aH</sup>	2,34±0,00 <sup>bH</sup>	2,04±0,01 <sup>dH</sup>	2,12±0,01 <sup>ch</sup>	1,94±0,01 <sup>eH</sup>	2,03±0,02 <sup>dG</sup>	1,76±0,01 <sup>fh</sup>
6	3,31±0,01 <sup>aG</sup>	2,83±0,02 <sup>bG</sup>	2,43±0,01 <sup>cG</sup>	2,34±0,01 <sup>dG</sup>	2,02±0,01 <sup>fG</sup>	2,05±0,00 <sup>eG</sup>	1,90±0,02 <sup>gG</sup>
8	3,95±0,02 <sup>aF</sup>	3,05±0,01 <sup>bF</sup>	2,83±0,02 <sup>cF</sup>	2,74±0,01 <sup>dF</sup>	2,51±0,01 <sup>eF</sup>	2,39±0,02 <sup>fF</sup>	2,05±0,02 <sup>gF</sup>
10	4,51±0,02 <sup>aE</sup>	3,83±0,02 <sup>bE</sup>	3,20±0,01 <sup>cE</sup>	3,04±0,01 <sup>dE</sup>	2,83±0,02 <sup>eE</sup>	2,52±0,01 <sup>fE</sup>	2,22±0,02 <sup>gE</sup>
12	4,92±0,01 <sup>aD</sup>	4,45±0,01 <sup>bD</sup>	3,97±0,01 <sup>cD</sup>	3,72±0,01 <sup>dD</sup>	3,40±0,01 <sup>eD</sup>	2,86±0,01 <sup>fD</sup>	2,38±0,02 <sup>gD</sup>
14	5,38±0,03 <sup>aC</sup>	5,02±0,01 <sup>bC</sup>	4,67±0,01 <sup>cC</sup>	4,31±0,01 <sup>dC</sup>	3,89±0,02 <sup>eC</sup>	2,98±0,01 <sup>fC</sup>	2,49±0,02 <sup>gC</sup>
16	5,93±0,03 <sup>aB</sup>	5,51±0,01 <sup>bB</sup>	5,24±0,02 <sup>cB</sup>	4,95±0,03 <sup>dB</sup>	4,43±0,02 <sup>eB</sup>	3,20±0,02 <sup>fB</sup>	2,67±0,01 <sup>gB</sup>
18	6,22±0,01 <sup>aA</sup>	5,92±0,01 <sup>bA</sup>	5,47±0,01 <sup>cA</sup>	5,24±0,02 <sup>dA</sup>	4,82±0,01 <sup>eA</sup>	3,42±0,02 <sup>fA</sup>	2,87±0,02 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

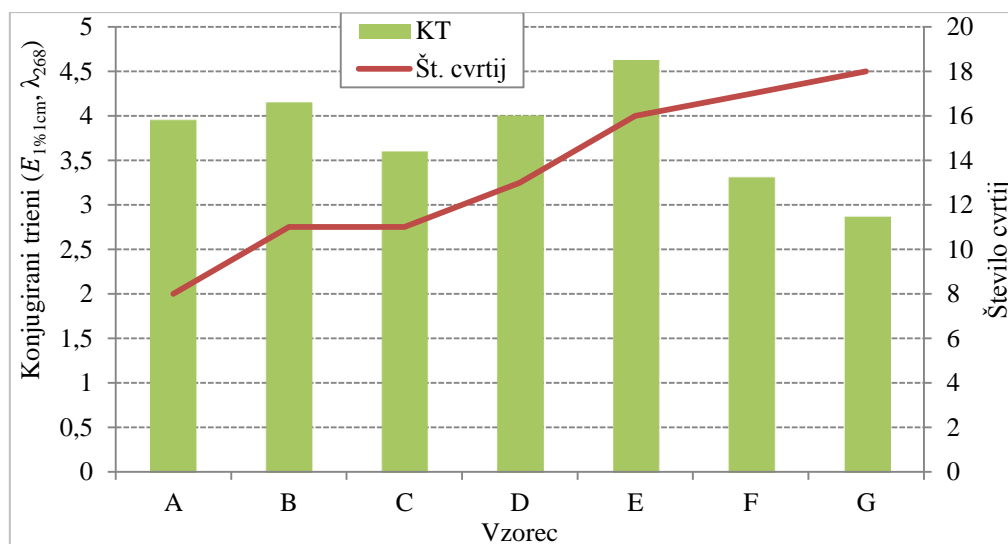
A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Vsebnost konjugiranih trienov (specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm) statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s številom cvrtij, razlike med vzorci so statistično značilno različne že po 2. cvrtju.

Vsebnost konjugiranih trienov (specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm) v kontrolnem olju naraste iz začetne vrednosti  $1,59 \pm 0,01$  do  $6,22 \pm 0,01$  po 18. cvrtju.

Dodatek antioksidantov znatno pripomore k zmanjšanju nastanka konjugiranih trienov v vseh vzorcih, vzorci olj z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov imajo ožje razpone.

Pred cvrtjem znaša specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm v vzorcu sojinega olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om  $1,57 \pm 0,02$  in po končanem cvrtju doseže vrednost  $2,87 \pm 0,02$ .



**Slika 35** Vsebnost konjugiranih trienov (KT) v vzorcih sojinega olja, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže 25 %

**Figure 35** The amount of conjugated trienes in soy oil, when the amount of polar compounds reaches 25 %

Pri 25 % deležu polarnih spojin (slika 35) najmanj konjugiranih trienov nastane v vzorcu sojinega olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G), največ pa v vzorcu z dodatkom samega rožmarinovega ekstrakta (E).

#### 4.3.4 Določanje barve sojinega olja

V preglednici 60 so prikazane spremembe svetlosti/temnosti vzorcev sojinega olja.

**Preglednica 60** L\* vrednost vzorcev sojinega olja med cvrtjem

**Table 60** L\*value of soy oil samples during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	93,14±0,02 <sup>bA</sup>	93,17±0,01 <sup>aA</sup>	93,12±0,01 <sup>bA</sup>	92,87±0,03 <sup>dA</sup>	92,66±0,01 <sup>eA</sup>	92,95±0,02 <sup>cA</sup>	92,84±0,01 <sup>dA</sup>
2	89,05±0,02 <sup>bB</sup>	89,56±0,01 <sup>eB</sup>	90,43±0,01 <sup>dB</sup>	92,61±0,02 <sup>aB</sup>	91,68±0,01 <sup>cB</sup>	92,45±0,01 <sup>bB</sup>	92,62±0,02 <sup>aB</sup>
4	80,88±0,02 <sup>gC</sup>	81,67±0,01 <sup>fC</sup>	83,42±0,01 <sup>eC</sup>	83,93±0,02 <sup>bC</sup>	83,66±0,01 <sup>dC</sup>	83,91±0,01 <sup>cC</sup>	84,65±0,01 <sup>aC</sup>
6	69,10±0,01 <sup>gD</sup>	73,91±0,00 <sup>dD</sup>	77,45±0,01 <sup>eD</sup>	78,22±0,02 <sup>dD</sup>	78,31±0,01 <sup>cD</sup>	78,87±0,01 <sup>bD</sup>	79,39±0,01 <sup>aD</sup>
8	64,20±0,01 <sup>fE</sup>	67,81±0,01 <sup>eE</sup>	69,13±0,02 <sup>dE</sup>	69,68±0,01 <sup>eE</sup>	69,83±0,01 <sup>eE</sup>	70,23±0,01 <sup>bE</sup>	70,42±0,02 <sup>aE</sup>
10	57,45±0,01 <sup>gF</sup>	60,43±0,01 <sup>fF</sup>	63,40±0,03 <sup>eF</sup>	64,83±0,02 <sup>dF</sup>	65,12±0,01 <sup>cF</sup>	66,41±0,01 <sup>bF</sup>	66,85±0,02 <sup>aF</sup>
12	55,78±0,03 <sup>gG</sup>	58,46±0,01 <sup>fG</sup>	60,89±0,02 <sup>eG</sup>	62,43±0,02 <sup>dG</sup>	62,81±0,02 <sup>cG</sup>	63,60±0,02 <sup>bG</sup>	63,92±0,02 <sup>aG</sup>
14	55,50±0,02 <sup>gH</sup>	56,48±0,01 <sup>fH</sup>	58,16±0,01 <sup>eH</sup>	61,00±0,01 <sup>dH</sup>	61,83±0,02 <sup>cH</sup>	62,65±0,02 <sup>bH</sup>	63,42±0,02 <sup>aH</sup>
16	53,90±0,02 <sup>gI</sup>	54,53±0,02 <sup>fI</sup>	56,01±0,01 <sup>eI</sup>	59,57±0,02 <sup>dI</sup>	60,09±0,02 <sup>cI</sup>	60,87±0,02 <sup>bI</sup>	61,70±0,02 <sup>aI</sup>
18	53,42±0,02 <sup>gJ</sup>	53,94±0,02 <sup>fJ</sup>	55,04±0,01 <sup>eJ</sup>	57,63±0,03 <sup>dJ</sup>	58,11±0,02 <sup>cJ</sup>	58,81±0,01 <sup>bJ</sup>	59,23±0,02 <sup>aJ</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

Pred začetkom cvrtja je barva vzorcev sojinega olja z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F, G) za odtenek temnejša od kontrolnega vzorca (A) in vzorcev z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C). Med cvrtjem postanejo kontrolni vzorec (A) in vzorci z dodatkom sintetičnih antioksidantov statistično značilno temnejši (p<0,05) kot vzorci z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F, G).

**Preglednica 61** a\* vrednost vzorcev sojinega olja med cvrtjem

**Table 61** a\*value of soy oil samples during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	-3,57±0,02 <sup>eJ</sup>	-3,56±0,02 <sup>eJ</sup>	-3,49±0,02 <sup>dJ</sup>	-3,35±0,02 <sup>cJ</sup>	-3,23±0,01 <sup>bJ</sup>	-3,19±0,02 <sup>aJ</sup>	-3,18±0,02 <sup>aJ</sup>
2	-2,38±0,02 <sup>aI</sup>	-2,49±0,01 <sup>bI</sup>	-2,69±0,02 <sup>cI</sup>	-2,72±0,01 <sup>cI</sup>	-2,71±0,01 <sup>cI</sup>	-2,70±0,02 <sup>cI</sup>	-2,79±0,03 <sup>dI</sup>
4	-1,43±0,01 <sup>aH</sup>	-1,71±0,02 <sup>bH</sup>	-1,92±0,01 <sup>cH</sup>	-1,95±0,02 <sup>dH</sup>	-2,00±0,01 <sup>eH</sup>	-2,15±0,01 <sup>fH</sup>	-2,22±0,02 <sup>gH</sup>
6	-0,67±0,01 <sup>aG</sup>	-0,84±0,02 <sup>bG</sup>	-1,15±0,02 <sup>cG</sup>	-1,16±0,01 <sup>cG</sup>	-1,22±0,02 <sup>dG</sup>	1,38±0,02 <sup>eG</sup>	-1,46±0,02 <sup>fG</sup>
8	0,28±0,02 <sup>aF</sup>	-0,07±0,01 <sup>bF</sup>	-0,22±0,02 <sup>cF</sup>	-0,29±0,02 <sup>dF</sup>	-0,50±0,01 <sup>eF</sup>	-0,62±0,01 <sup>fF</sup>	-0,81±0,02 <sup>gF</sup>
10	1,23±0,02 <sup>aE</sup>	0,81±0,02 <sup>bE</sup>	0,61±0,01 <sup>cE</sup>	0,56±0,01 <sup>dE</sup>	0,38±0,02 <sup>eE</sup>	0,13±0,01 <sup>fE</sup>	-0,12±0,02 <sup>gE</sup>
12	1,88±0,03 <sup>aD</sup>	1,54±0,01 <sup>bD</sup>	1,26±0,01 <sup>cD</sup>	1,01±0,00 <sup>dD</sup>	0,78±0,02 <sup>eD</sup>	0,52±0,02 <sup>fD</sup>	0,39±0,01 <sup>gD</sup>
14	2,33±0,02 <sup>aC</sup>	2,03±0,02 <sup>bC</sup>	1,69±0,02 <sup>cC</sup>	1,33±0,01 <sup>dC</sup>	1,11±0,02 <sup>eC</sup>	0,86±0,02 <sup>fC</sup>	0,66±0,01 <sup>gC</sup>
16	2,61±0,01 <sup>aB</sup>	2,53±0,02 <sup>bB</sup>	2,23±0,01 <sup>cB</sup>	1,65±0,01 <sup>dB</sup>	1,34±0,02 <sup>eB</sup>	1,11±0,01 <sup>fB</sup>	0,82±0,02 <sup>gB</sup>
18	3,05±0,01 <sup>aA</sup>	2,95±0,02 <sup>bA</sup>	2,76±0,02 <sup>cA</sup>	2,35±0,01 <sup>dA</sup>	1,86±0,02 <sup>eA</sup>	1,44±0,02 <sup>fA</sup>	1,29±0,02 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)



a\* vrednost pri vseh vzorcih statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s časom cvrtja, kot je prikazano v preglednici 61.

Razlike med vzorci so statistično značilne ( $p < 0,05$ ) že po 4. cvrtju. Po 18. cvrtju se razlike med vzorci še povečajo. Najnižjo a\* vrednost imajo vzorci z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F, G), medtem ko ima kontrolni vzorec (A) najvišjo a\* vrednost, kar pomeni, da je najbolj rdeč.

Pred začetkom cvrtja so bolj rdeči (višja a\* vrednost) vzorci sojinega olja z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F, G).

b\* vrednost pri vseh vzorcih statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča s časom cvrtja, kot je prikazano v preglednici 62.

**Preglednica 62** b\* vrednost vzorcev sojinega olja med cvrtjem

**Table 62** b\*value of soy oil samples during frying

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	14,76±0,00 <sup>aJ</sup>	14,53±0,02 <sup>bJ</sup>	14,52±0,02 <sup>bJ</sup>	14,33±0,02 <sup>cJ</sup>	14,29±0,01 <sup>dJ</sup>	14,27±0,01 <sup>dJ</sup>	14,32±0,02 <sup>cJ</sup>
2	15,03±0,02 <sup>aI</sup>	14,97±0,01 <sup>bI</sup>	14,96±0,01 <sup>bI</sup>	14,96±0,02 <sup>bI</sup>	14,89±0,03 <sup>cI</sup>	14,83±0,02 <sup>dI</sup>	14,80±0,01 <sup>eI</sup>
4	15,42±0,02 <sup>aH</sup>	15,21±0,02 <sup>bH</sup>	15,17±0,02 <sup>cH</sup>	15,05±0,01 <sup>dH</sup>	14,98±0,02 <sup>eH</sup>	14,95±0,01 <sup>fH</sup>	14,97±0,02 <sup>eH</sup>
6	15,89±0,02 <sup>aG</sup>	15,50±0,02 <sup>bG</sup>	15,42±0,02 <sup>cG</sup>	15,33±0,01 <sup>dG</sup>	15,28±0,01 <sup>eG</sup>	15,34±0,02 <sup>dG</sup>	15,24±0,02 <sup>fG</sup>
8	16,48±0,02 <sup>aF</sup>	16,04±0,01 <sup>bF</sup>	15,83±0,02 <sup>cF</sup>	15,76±0,01 <sup>dF</sup>	15,64±0,02 <sup>eF</sup>	15,44±0,01 <sup>fF</sup>	15,52±0,02 <sup>fF</sup>
10	17,13±0,02 <sup>aE</sup>	16,49±0,01 <sup>bE</sup>	16,30±0,02 <sup>cE</sup>	16,16±0,02 <sup>dE</sup>	16,14±0,01 <sup>eE</sup>	16,08±0,01 <sup>fE</sup>	15,82±0,01 <sup>gE</sup>
12	19,22±0,01 <sup>aD</sup>	17,52±0,02 <sup>bD</sup>	17,30±0,02 <sup>cD</sup>	17,05±0,02 <sup>dD</sup>	16,83±0,02 <sup>eD</sup>	16,73±0,02 <sup>fD</sup>	16,51±0,01 <sup>gD</sup>
14	19,05±0,01 <sup>aC</sup>	18,29±0,02 <sup>bC</sup>	17,96±0,02 <sup>cC</sup>	17,64±0,02 <sup>dC</sup>	17,31±0,01 <sup>eC</sup>	17,14±0,00 <sup>fC</sup>	16,87±0,02 <sup>gC</sup>
16	19,63±0,02 <sup>aB</sup>	19,07±0,01 <sup>bB</sup>	18,47±0,01 <sup>cB</sup>	18,04±0,01 <sup>dB</sup>	17,77±0,01 <sup>eB</sup>	17,28±0,03 <sup>fB</sup>	17,05±0,02 <sup>gB</sup>
18	20,33±0,02 <sup>aA</sup>	19,93±0,01 <sup>bA</sup>	19,42±0,02 <sup>cA</sup>	18,83±0,02 <sup>dA</sup>	18,52±0,02 <sup>eA</sup>	18,32±0,02 <sup>fA</sup>	18,19±0,02 <sup>gA</sup>

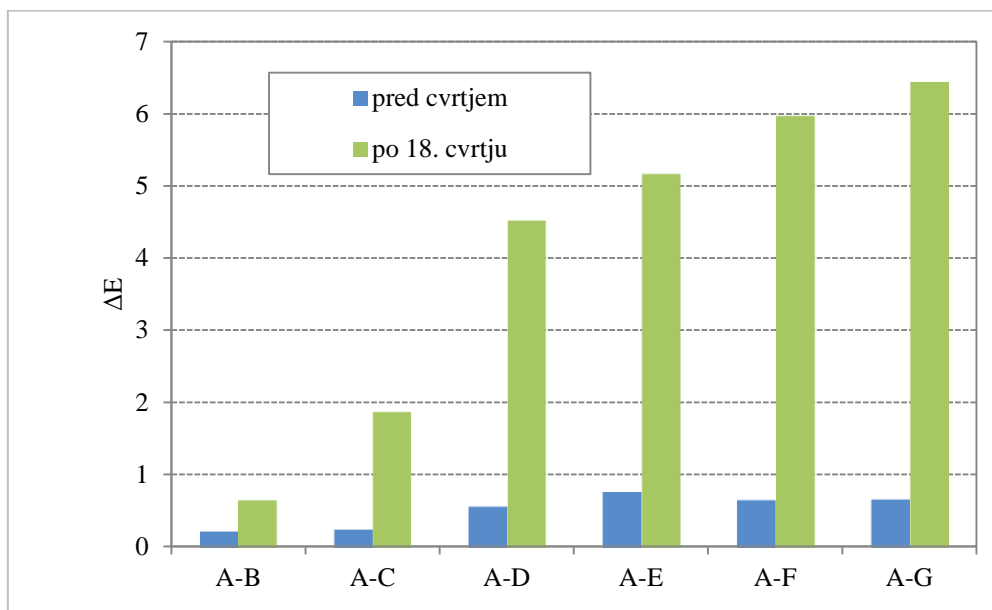
a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Komponenta b\* s časom cvrtja statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča, kar pomeni, da vzorci olja postajajo bolj rumeni. Pred začetkom cvrtja, po dodatku antioksidantov, so vzorci z dodatkom antioksidantov nekoliko manj rumeni v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A).

Statistično značilna razlika ( $p < 0,05$ ) med vzorci olja se pokaže po 4. cvrtju. Po končanem procesu cvrtja so vzorci z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F, G) manj rumeni kot kontrolni vzorec (A).

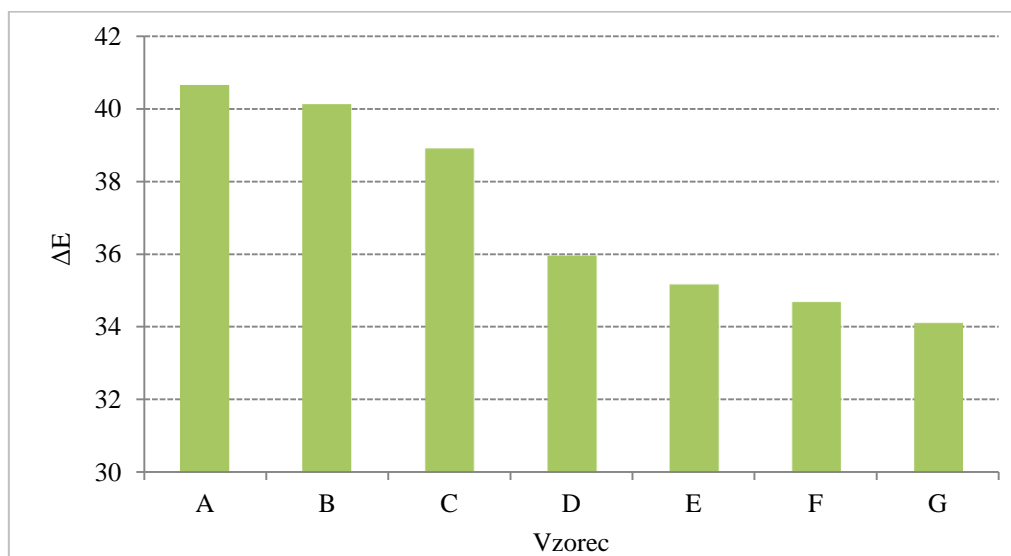
Pred začetkom cvrtja je vizualna ocena razlike barve v primerjavi s kontrolnim vzorcem sojinega olja šibka in po 18. cvrtju postane zelo jasna (slika 36). Največja sprememba je opazna med vzorcema A in G.



**Slika 36** Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sojinega olja z dodanimi antioksidanti (B, C, D, E, F, G) v primerjavi z vzorcem brez dodatka antioksidantov (A)

**Figure 36** Colour difference ( $\Delta E$ ) between soy oil samples with the addition of antioxidants (B, C, D, E, F, G) and sample without antioxidants (A)

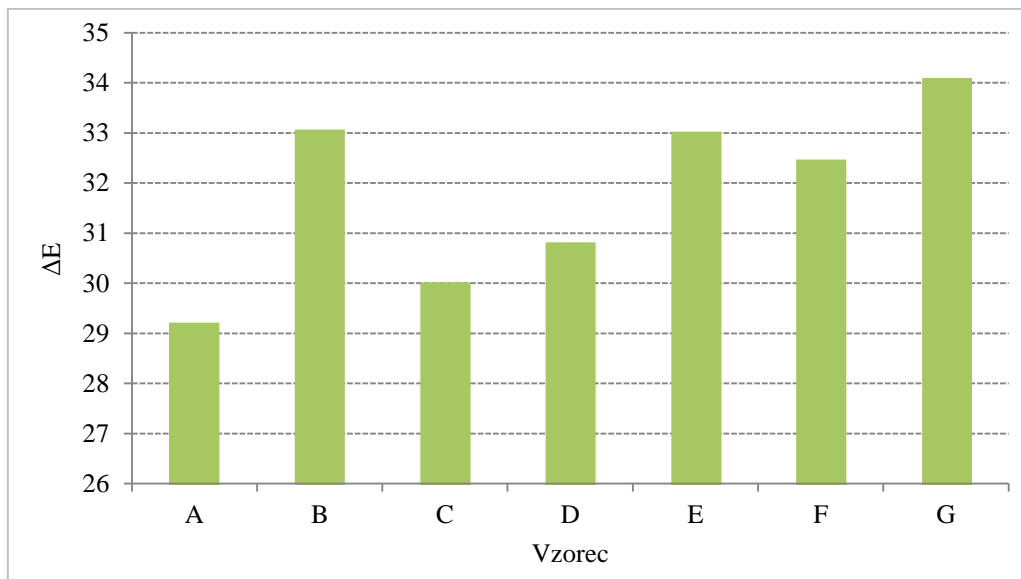
Spremembe barve vzorcev sojinega olja pred in po končanem cvrtju so prikazane na sliki 37.



**Slika 37** Barvna razlika ( $\Delta E$ ) vzorcev sojinega olja pred začetkom cvrtja in po 18. cvrtju

**Figure 37** Colour difference ( $\Delta E$ ) of soy oil samples before frying and after 18 frying

Skozi proces cvrtja se barva najbolj spremeni v vzorcu olja brez dodatka antioksidantov (A), najmanjša sprememba, čeprav še vedno zelo močna, pa je opazna v vzorcu sojinega olja z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F in G).



**Slika 38** Barvna razlika vzorcev ( $\Delta E$ ) sojinega olja pred začetkom cvrtja in po tem, ko delež polarnih spojin naraste na 25 %

**Figure 38** Colour difference ( $\Delta E$ ) of soy oil samples before frying and after polar compounds increased to 25 %

Pri 25 % deležu polarnih spojin (slika 38) so razlike v primerjavi z začetkom cvrtja vizualno zelo močne, najmanjša sprememba barve je opazna pri kontrolnem vzorcu (A), največja pa pri vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

#### 4.3.5 Določanje vsebnosti malonaldehida v krompirčku ocvrtem v sojinem olju

Rezultati vsebnosti malonaldehida krompirčka ocvrtega v sojinem olju so predstavljeni v preglednici 63.

Vsebnost malonaldehida statistično značilno ( $p < 0,05$ ) narašča z naraščajočim številom cvrtij in je statistično značilno ( $p < 0,05$ ) odvisna od prisotnosti antioksidantov.

Vsebnost malonaldehida do 4. cvrtja strmo narašča, nato se hitrost nastanka malonaldehida upočasni, razlike med vzorci pa povečajo.

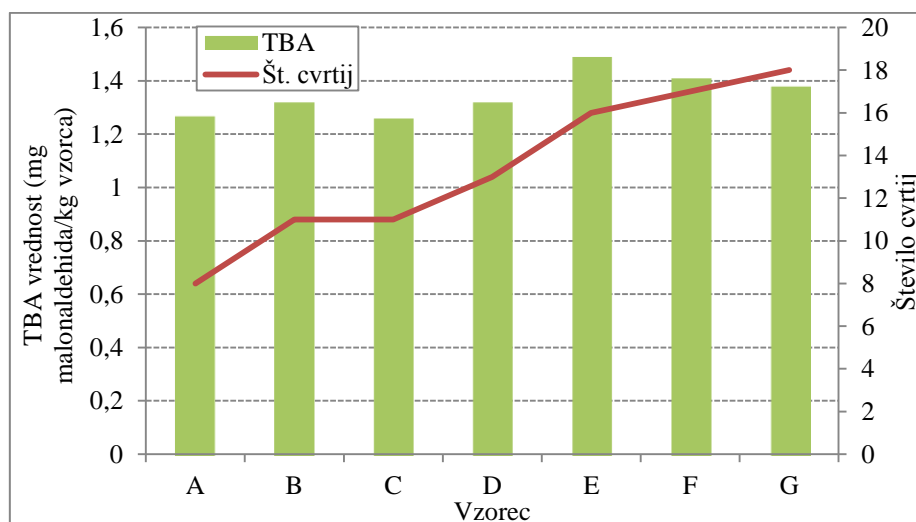
Po 18. cvrtjih vzorec krompirčka ocvrtega v sojinem olju z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) vsebuje 32 % manj malonaldehida v primerjavi s kontrolnim vzorcem (A).

**Preglednica 63** Vsebnost malonaldehida (mg/kg) v krompirčku ocvtem v sojinem olju  
**Table 63** The amount of malonaldehyde (mg/kg) in potatoes fried in soy oil

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,21±0,02 <sup>aj</sup>	0,21±0,02 <sup>aj</sup>	0,21±0,02 <sup>aj</sup>	0,21±0,02 <sup>aj</sup>	0,21±0,02 <sup>aj</sup>	0,21±0,02 <sup>aj</sup>	0,21±0,02 <sup>aj</sup>
2	0,64±0,01 <sup>al</sup>	0,61±0,01 <sup>bl</sup>	0,56±0,01 <sup>cl</sup>	0,51±0,01 <sup>dl</sup>	0,49±0,01 <sup>el</sup>	0,48±0,01 <sup>el</sup>	0,45±0,01 <sup>fl</sup>
4	1,06±0,00 <sup>ah</sup>	0,86±0,01 <sup>ch</sup>	0,90±0,01 <sup>bh</sup>	0,87±0,01 <sup>ch</sup>	0,81±0,01 <sup>dh</sup>	0,76±0,01 <sup>eh</sup>	0,71±0,01 <sup>fh</sup>
6	1,15±0,01 <sup>ag</sup>	1,01±0,01 <sup>bg</sup>	0,96±0,01 <sup>cg</sup>	0,93±0,01 <sup>dg</sup>	0,88±0,01 <sup>eg</sup>	0,85±0,01 <sup>fg</sup>	0,78±0,01 <sup>gg</sup>
8	1,27±0,01 <sup>af</sup>	1,16±0,00 <sup>bf</sup>	1,11±0,01 <sup>cf</sup>	1,08±0,01 <sup>df</sup>	0,94±0,02 <sup>ef</sup>	0,89±0,02 <sup>ff</sup>	0,83±0,00 <sup>gf</sup>
10	1,36±0,01 <sup>ae</sup>	1,28±0,01 <sup>be</sup>	1,20±0,01 <sup>ce</sup>	1,15±0,01 <sup>de</sup>	1,09±0,00 <sup>ee</sup>	0,94±0,00 <sup>fe</sup>	0,92±0,01 <sup>ge</sup>
12	1,43±0,01 <sup>ad</sup>	1,36±0,01 <sup>bd</sup>	1,31±0,01 <sup>cd</sup>	1,28±0,01 <sup>dd</sup>	1,12±0,01 <sup>ed</sup>	1,03±0,01 <sup>fd</sup>	0,98±0,01 <sup>gd</sup>
14	1,62±0,02 <sup>ac</sup>	1,51±0,01 <sup>bc</sup>	1,48±0,01 <sup>cc</sup>	1,36±0,01 <sup>dc</sup>	1,29±0,01 <sup>ec</sup>	1,22±0,01 <sup>fc</sup>	1,16±0,02 <sup>gc</sup>
16	1,93±0,00 <sup>ab</sup>	1,75±0,01 <sup>bb</sup>	1,65±0,01 <sup>cb</sup>	1,57±0,01 <sup>db</sup>	1,49±0,01 <sup>eb</sup>	1,37±0,01 <sup>fb</sup>	1,27±0,01 <sup>gb</sup>
18	2,04±0,01 <sup>aA</sup>	1,86±0,01 <sup>bA</sup>	1,82±0,01 <sup>cA</sup>	1,73±0,01 <sup>dA</sup>	1,64±0,02 <sup>eA</sup>	1,53±0,02 <sup>fA</sup>	1,38±0,01 <sup>gA</sup>

a-g vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )  
A-J vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Pri 25 % deležu polarnih spojin (slika 39) vsebnost malonaldehida v vzorcih znaša med 1,27 in 1,49 mg/kg.



**Slika 39** Vsebnost malonaldehida (TBA) v krompirčku ocvrtem v sojinem olju, ko delež polarnih spojin v posameznem vzorcu doseže vrednost 25 %

**Figure 39** The amount of malonaldehyde in potatoes fried in soy oil, when the amount of polar compounds in each sample reaches 25 %

#### 4.3.6 Senzorična analiza krompirčka ocvrtega v sojinem olju

Rezultati senzorične analize krompirčka, ocvrtega v sojinem olju, so prikazani v preglednicah 64, 65, 66, 67 in 68.

**Preglednica 64**                      **Senzorična ocena (1-7) vonja krompirčka ocvrtega v sojinem olju**

**Table 64**                                **Sensory evaluation (1-7) of odour of potato fried in soy oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
2	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
4	6,40±0,55 <sup>bA</sup>	6,60±0,55 <sup>abA</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
6	5,60±0,55 <sup>bB</sup>	6,00±0,00 <sup>bB</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
8	5,20±0,45 <sup>cB</sup>	5,60±0,55 <sup>cB</sup>	6,40±0,55 <sup>bA</sup>	6,60±0,55 <sup>abA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
10	5,40±0,55 <sup>cB</sup>	5,80±0,45 <sup>bcB</sup>	5,80±0,45 <sup>bcB</sup>	6,00±0,00 <sup>bB</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
12	4,40±0,55 <sup>cC</sup>	4,80±0,45 <sup>cC</sup>	5,60±0,55 <sup>bB</sup>	5,80±0,45 <sup>bcB</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
14	3,80±0,45 <sup>dCD</sup>	4,20±0,45 <sup>dD</sup>	5,20±0,45 <sup>cB</sup>	5,40±0,55 <sup>cCD</sup>	6,00±0,00 <sup>bB</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>
16	3,20±0,45 <sup>dDE</sup>	3,80±0,45 <sup>dDE</sup>	4,60±0,55 <sup>cC</sup>	5,20±0,45 <sup>bcDE</sup>	5,80±0,45 <sup>abB</sup>	6,20±0,45 <sup>abB</sup>	6,40±0,55 <sup>abB</sup>
18	3,00±0,71 <sup>eE</sup>	3,60±0,55 <sup>eE</sup>	4,40±0,55 <sup>bc</sup>	4,80±0,45 <sup>bE</sup>	5,60±0,55 <sup>abB</sup>	5,80±0,45 <sup>aC</sup>	6,00±0,00 <sup>aC</sup>

a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

A-E vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo (p<0,05)

Ocena vonja se s številom cvrtij niža (poslabšuje) pri vseh vzorcih (preglednica 64), najpočasneje v krompirčku ocvrtem v sojinem olju z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

Vzorci krompirčka ocvrtem v sojinem olju z dodatki rožmarinovitih ekstraktov (E, F, G) imajo tudi po 18. cvrtju še vedno prijeten vonj.

Barva vseh vzorcev krompirčka s časom cvrtja potemni (preglednica 65), najbolj potemni barva krompirčka ocvrtega v sojinem olju brez dodatka antioksidantov (A) in sojinem olju z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C).

Barva krompirčka ocvrtega v sojinem olju doseže optimalno vrednost po 4. oz. 6. cvrtju. Krompirček ocvrt v sojinem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F in G) najdlje obdrži optimalno barvo.

**Preglednica 65**                      **Senzorična ocena (1-4-7) barve krompirčka ocvrtega v sojinem olju**  
**Table 65**                              **Sensory evaluation (1-4-7) of colour of potato fried in soy oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidantov						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	1,40±0,55 <sup>bH</sup>	1,40±0,55 <sup>abF</sup>	1,40±0,55 <sup>aH</sup>	1,40±0,55 <sup>aF</sup>	1,40±0,55 <sup>aE</sup>	1,40±0,55 <sup>aE</sup>	1,40±0,55 <sup>aD</sup>
2	2,00±0,00 <sup>bG</sup>	2,00±0,00 <sup>bF</sup>	2,80±0,45 <sup>aG</sup>	3,20±0,45 <sup>aE</sup>	3,00±0,00 <sup>aD</sup>	3,20±0,45 <sup>aD</sup>	3,20±0,45 <sup>aC</sup>
4	3,40±0,55 <sup>bcF</sup>	3,20±0,45 <sup>cE</sup>	3,80±0,45 <sup>abF</sup>	4,00±0,00 <sup>aD</sup>	3,80±0,45 <sup>abC</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>	4,00±0,00 <sup>aB</sup>
6	4,00±0,00 <sup>aE</sup>	4,00±0,00 <sup>aD</sup>	4,00±0,00 <sup>aEF</sup>	4,00±0,00 <sup>aD</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>	4,00±0,00 <sup>aC</sup>	4,00±0,00 <sup>aB</sup>
8	4,20±0,45 <sup>abDE</sup>	4,00±0,00 <sup>bD</sup>	4,40±0,55 <sup>aDE</sup>	4,00±0,00 <sup>bD</sup>	4,00±0,00 <sup>bC</sup>	4,00±0,00 <sup>bC</sup>	4,00±0,00 <sup>bB</sup>
10	4,60±0,55 <sup>aD</sup>	4,60±0,55 <sup>aC</sup>	4,60±0,55 <sup>aCD</sup>	4,00±0,00 <sup>bD</sup>	4,00±0,00 <sup>bC</sup>	4,00±0,00 <sup>bC</sup>	4,00±0,00 <sup>bB</sup>
12	5,40±0,55 <sup>aC</sup>	5,40±0,55 <sup>aB</sup>	5,00±0,00 <sup>abBC</sup>	4,60±0,55 <sup>bcC</sup>	4,20±0,45 <sup>cdBC</sup>	4,00±0,00 <sup>dC</sup>	4,00±0,00 <sup>dB</sup>
14	6,00±0,00 <sup>aB</sup>	5,60±0,55 <sup>abB</sup>	5,20±0,45 <sup>bB</sup>	5,20±0,45 <sup>bB</sup>	4,60±0,55 <sup>cB</sup>	4,20±0,45 <sup>cdBC</sup>	4,00±0,00 <sup>dB</sup>
16	6,40±0,55 <sup>aB</sup>	6,40±0,55 <sup>aA</sup>	6,00±0,00 <sup>abA</sup>	5,60±0,55 <sup>baB</sup>	5,40±0,55 <sup>baA</sup>	4,60±0,55 <sup>caB</sup>	4,40±0,55 <sup>caB</sup>
18	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>	6,40±0,55 <sup>aA</sup>	5,80±0,45 <sup>baA</sup>	5,60±0,55 <sup>baA</sup>	4,80±0,45 <sup>caA</sup>	4,60±0,55 <sup>caA</sup>

a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-H vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

**Preglednica 66**                      **Senzorična ocena (0-5) žarkosti krompirčka ocvrtega v sojinem olju**  
**Table 66**                              **Sensory evaluation (0-5) of rancidity of potato fried in soy oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
2	0,20±0,45 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aF</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
4	0,40±0,55 <sup>aE</sup>	0,40±0,55 <sup>aF</sup>	0,40±0,55 <sup>aF</sup>	0,40±0,55 <sup>aDE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aB</sup>
6	1,60±0,55 <sup>aD</sup>	1,20±0,45 <sup>abE</sup>	1,00±0,00 <sup>bcE</sup>	0,60±0,55 <sup>cDE</sup>	0,00±0,00 <sup>dE</sup>	0,00±0,00 <sup>dC</sup>	0,00±0,00 <sup>dB</sup>
8	1,80±0,45 <sup>aD</sup>	1,60±0,55 <sup>abE</sup>	1,20±0,45 <sup>bcDE</sup>	0,80±0,45 <sup>cd</sup>	0,20±0,45 <sup>dE</sup>	0,00±0,00 <sup>dC</sup>	0,00±0,00 <sup>dB</sup>
10	2,00±0,00 <sup>aD</sup>	1,80±0,45 <sup>aDE</sup>	1,60±0,55 <sup>aCD</sup>	1,00±0,00 <sup>bCD</sup>	0,40±0,55 <sup>cdDE</sup>	0,60±0,55 <sup>bcB</sup>	0,00±0,00 <sup>dB</sup>
12	2,60±0,55 <sup>aC</sup>	2,40±0,55 <sup>aCD</sup>	2,00±0,00 <sup>abC</sup>	1,40±0,55 <sup>bcC</sup>	0,80±0,45 <sup>bcCD</sup>	1,00±0,00 <sup>bcAB</sup>	0,40±0,55 <sup>cB</sup>
14	3,00±0,00 <sup>aC</sup>	2,80±0,45 <sup>abC</sup>	2,40±0,55 <sup>aB</sup>	1,60±0,55 <sup>bB</sup>	1,20±0,45 <sup>bcC</sup>	1,20±0,45 <sup>baA</sup>	1,20±0,45 <sup>baA</sup>
16	3,60±0,55 <sup>aB</sup>	3,40±0,55 <sup>aAB</sup>	3,00±0,00 <sup>abA</sup>	2,40±0,55 <sup>baA</sup>	1,60±0,55 <sup>caB</sup>	1,40±0,55 <sup>caA</sup>	1,40±0,55 <sup>caA</sup>
18	4,40±0,55 <sup>aA</sup>	4,00±0,71 <sup>aA</sup>	3,20±0,45 <sup>baA</sup>	2,80±0,45 <sup>baA</sup>	1,80±0,45 <sup>caA</sup>	1,40±0,55 <sup>caA</sup>	1,40±0,55 <sup>caA</sup>

a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-F vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Žarkost vseh vzorcev narašča z naraščajočim številom cvrtij (preglednica 66).

Vzorci krompirčka ocvrti v sojinem olju brez dodatka antioksidantov (A) ali z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B in C) postanejo žarki hitreje v primerjavi z vzorci krompirčka ocvrtimi v sojinem olju z dodatkom naravnih antioksidantov (D, E, F in G).

**Preglednica 67**                      **Senzorična ocena (0-5) oljivosti krompirčka ocvrtega v sojinem olju**

**Table 67**                              **Sensory evaluation (0-5) of oiliness of potato fried in soy oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aAC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>
2	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aAC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>
4	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aAC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>
6	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,20±0,45 <sup>aAC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>
8	0,20±0,45 <sup>aE</sup>	0,00±0,00 <sup>aE</sup>	0,20±0,45 <sup>aAC</sup>	0,20±0,45 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>
10	0,40±0,55 <sup>aE</sup>	0,40±0,55 <sup>aDE</sup>	0,00±0,00 <sup>aAC</sup>	0,20±0,45 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>	0,00±0,00 <sup>aC</sup>
12	1,00±0,00 <sup>aD</sup>	0,60±0,55 <sup>abD</sup>	0,40±0,55 <sup>bcC</sup>	0,20±0,45 <sup>bcC</sup>	0,00±0,00 <sup>cC</sup>	0,00±0,00 <sup>cC</sup>	0,00±0,00 <sup>cC</sup>
14	1,40±0,55 <sup>aC</sup>	1,40±0,55 <sup>aC</sup>	1,20±0,45 <sup>abB</sup>	0,80±0,45 <sup>bB</sup>	1,00±0,00 <sup>abB</sup>	0,00±0,00 <sup>cC</sup>	0,00±0,00 <sup>cC</sup>
16	2,00±0,00 <sup>aB</sup>	2,00±0,00 <sup>aB</sup>	1,40±0,55 <sup>bB</sup>	1,20±0,45 <sup>bcB</sup>	1,20±0,45 <sup>bcAB</sup>	0,60±0,55 <sup>cB</sup>	0,60±0,55 <sup>cB</sup>
18	3,00±0,00 <sup>aA</sup>	2,60±0,55 <sup>abA</sup>	2,40±0,55 <sup>abA</sup>	2,00±0,71 <sup>bcA</sup>	1,40±0,55 <sup>cdA</sup>	1,40±0,55 <sup>cdA</sup>	1,20±0,45 <sup>da</sup>

a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-E vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Razlike v oljivosti vzorcev krompirčka (preglednica 67) postanejo statistično značilne šele po 12. cvrtju. Pri večini vzorcev je ocena oljivosti nizka in konstantna do 10. cvrtja ter nato začne naraščati. Ob koncu cvrtja je najbolj oljav krompirček ocvrt v sojinem olju brez dodanih antioksidantov (A).

**Preglednica 68**                      **Senzorična ocena (1-7) skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v sojinem olju**

**Table 68**                              **Sensory evaluation (1-7) of overall impression of potato fried in soy oil**

Št. cvrtij	dodatek antioksidanta						
	vzorec A	vzorec B	vzorec C	vzorec D	vzorec E	vzorec F	vzorec G
0	5,00±0,00 <sup>aB</sup>	5,00±0,00 <sup>aBC</sup>	5,00±0,00 <sup>aE</sup>	5,00±0,00 <sup>aCD</sup>	5,00±0,00 <sup>aD</sup>	5,00±0,00 <sup>aE</sup>	5,20±0,45 <sup>aD</sup>
2	5,20±0,45 <sup>bB</sup>	5,40±0,55 <sup>abB</sup>	5,60±0,55 <sup>abd</sup>	5,40±0,55 <sup>abC</sup>	5,60±0,55 <sup>abBC</sup>	6,00±0,00 <sup>aCD</sup>	5,60±0,55 <sup>abCD</sup>
4	6,20±0,45 <sup>ba</sup>	6,20±0,45 <sup>ba</sup>	6,80±0,45 <sup>abAB</sup>	6,20±0,45 <sup>bB</sup>	6,60±0,55 <sup>abA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>
6	6,40±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>
8	6,40±0,55 <sup>ba</sup>	6,80±0,45 <sup>abA</sup>	6,40±0,55 <sup>bcB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>
10	5,40±0,55 <sup>cB</sup>	5,40±0,55 <sup>cB</sup>	6,00±0,00 <sup>bcD</sup>	6,60±0,55 <sup>aAB</sup>	7,00±0,00 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>
12	5,00±0,00 <sup>cB</sup>	4,60±0,55 <sup>cdD</sup>	5,60±0,55 <sup>bd</sup>	6,20±0,45 <sup>aB</sup>	6,60±0,55 <sup>aA</sup>	6,80±0,45 <sup>aAB</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>
14	4,20±0,45 <sup>dC</sup>	4,20±0,45 <sup>dD</sup>	4,60±0,55 <sup>de</sup>	5,40±0,55 <sup>cC</sup>	6,00±0,00 <sup>bB</sup>	6,40±0,55 <sup>abBC</sup>	6,80±0,45 <sup>aA</sup>
16	3,60±0,55 <sup>dD</sup>	3,60±0,55 <sup>de</sup>	4,00±0,00 <sup>bcF</sup>	4,60±0,55 <sup>bd</sup>	5,80±0,45 <sup>aBC</sup>	6,20±0,45 <sup>aC</sup>	6,40±0,55 <sup>aAB</sup>
18	2,80±0,45 <sup>eE</sup>	3,00±0,00 <sup>cF</sup>	3,40±0,55 <sup>bcG</sup>	3,80±0,45 <sup>bE</sup>	5,40±0,55 <sup>aCD</sup>	5,60±0,55 <sup>aD</sup>	6,00±0,71 <sup>aBC</sup>

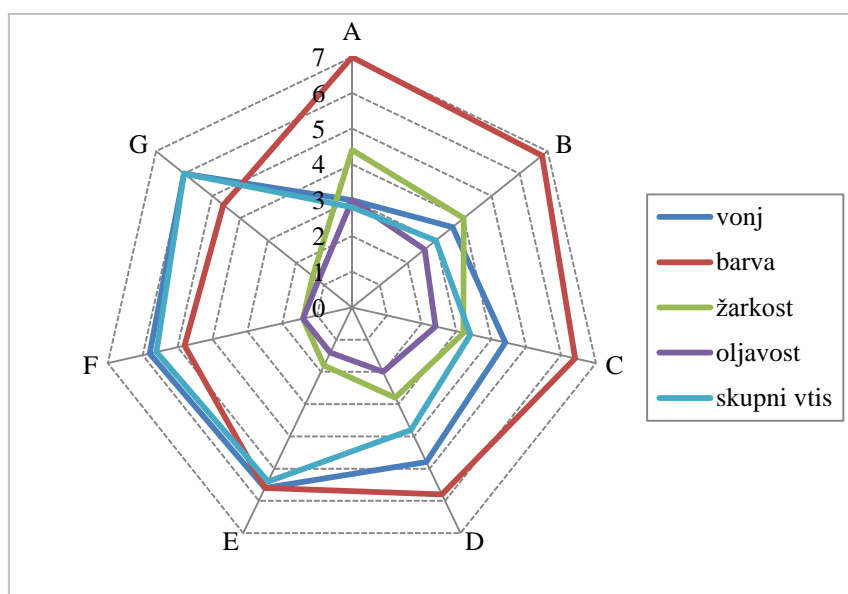
a-d vrednosti v vrstici označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

A-G vrednosti v stolpcu označene z različno črko se med seboj značilno razlikujejo ( $p < 0,05$ )

Ocena skupnega vtisa vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju (preglednica 68) je najboljša od 4. cvrtja dalje.

Vzorci krompirčka ocvrtega v sojinem olju z dodatkom antioksidantov dlje časa ohranjajo dobro oceno skupnega vtisa.

Ocena skupnega vtisa vseh vzorcev ocvrtega krompirčka je določen čas cvrtja zelo dobra, nato začne padati.



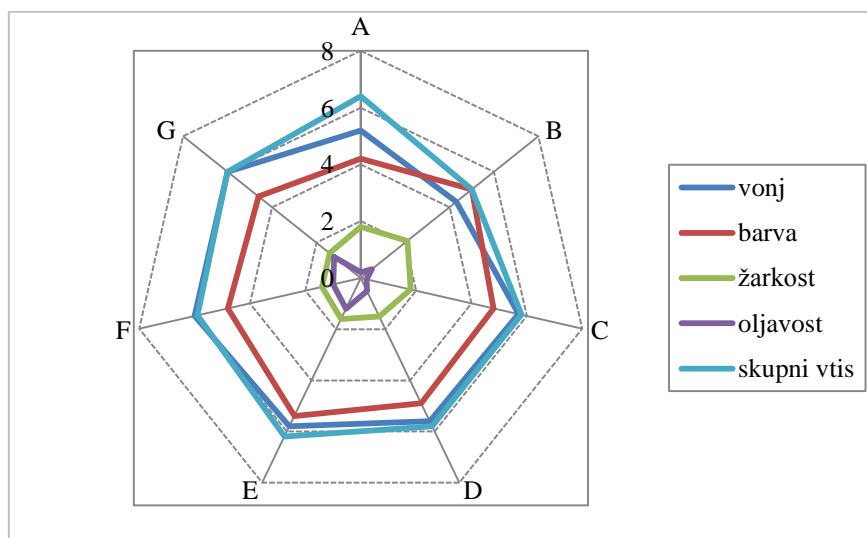
**Slika 40** Ocena senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju po 18. cvrtjih

**Figure 40** Assessment of sensory parameters of potato samples fried in soy oil after 18<sup>th</sup> fryings

Po 18. cvrtjih (slika 40) se vzorci krompirčka ocvrti v sojinem olju v senzoričnih lastnostih precej razlikujejo.

Senzorične lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju z dodatkom rožmarinovih ekstraktov (E, F, G) so dosti bolje ocenjene kot senzorične lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju brez dodatka antioksidantov (A) ali z dodatkom sintetičnih antioksidantov (B, C).





**Slika 41** Ocena senzoričnih lastnosti vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju pri enakem deležu polarnih spojin v olju (25 %)

**Figure 41** Assessment of sensory parameters of potato samples fried in soy oil at the same amount of polar compounds in oil (25 %)

Kot je razvidno iz slike 41, se senzorične lastnosti vzorcev pri enakem deležu polarnih spojin (25 %) malo razlikujejo.

Največje razlike so opazne v oljavosti vzorcev, in sicer so vzorci krompirčka ocvrti v sojinem olju z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov (E, F in G), bolj oljaviti v primerjavi z ostalimi vzorci.

Vsi vzorci so imajo rahlo slabši vonj, so pretemni in rahlo žarki.

#### 4.3.7 Korelacijska analiza

Kot je razvidno iz preglednice 69, je čas cvrtja v visoki korelaciji z deležem polarnih spojin ( $r < 0,92$ ) in barvo olja ( $0,93 < r < 0,96$ ), ter vsebnostjo malonaldehida ( $r < 0,93$ ) in barvo ocvrtega krompirčka ( $r < 0,85$ ).

Delež polarnih spojin je v tesni povezavi z deležem prostih maščobnih kislin ( $r < 0,98$ ), vsebnostjo konjugiranih trienov ( $r < 0,96$ ),  $a^*$  ( $r < 0,98$ ) in  $b^*$  ( $r < 0,97$ ) komponento barve sojinega olja ter s vsebnostjo malonaldehida ( $r < 0,97$ ) in žarkostjo ocvrtega krompirčka ( $r < 0,90$ ).

Od senzoričnih lastnosti ocvrtega krompirčka kaže najtesnejšo povezavo s parametri olja ocena žarkosti.

**Preglednica 69** Pearsonovi korelacijski koeficienti med parametri poskusa, izvedenega na sojinem olju**Table 69** Pearson correlation coefficients between parameters of trial performed on soy oil

	cvrtje	PMK	PS	KD	KT	L	a	b	TBA	vonj	barva	žarkost	oljavost	skupni vtis
<b>sojino olje</b>														
cvrtje	1,00**	0,89**	0,92**	0,75**	0,83**	-0,95**	0,96**	0,93**	0,93**	-0,67**	0,85**	0,76**	0,71**	-0,31**
PMK	-	1,00**	0,98**	0,91**	0,96**	-0,88**	0,93**	0,98**	0,94**	-0,88**	0,87**	0,91**	0,86**	-0,60**
PS	-	-	1,00**	0,91**	0,96**	-0,94**	0,98**	0,97**	0,97**	-0,86**	0,89**	0,90**	0,80**	-0,49**
KD	-	-	-	1,00**	0,92**	-0,85**	0,87**	0,86**	0,90**	-0,87**	0,81**	0,87**	0,70**	-0,46**
KT	-	-	-	-	1,00**	-0,86**	0,91**	0,94**	0,92**	-0,89**	0,85**	0,92**	0,82**	-0,60**
L*	-	-	-	-	-	1,00**	-0,99**	-0,89**	-0,94**	0,70**	-0,86**	-0,75**	-0,63**	0,23*
a*	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,95**	0,97**	-0,76**	0,90**	0,82**	0,72**	-0,35**
b*	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,94**	-0,83**	0,87**	0,87**	0,84**	-0,55**
<b>ocvrt krompirček</b>														
TBA	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,80**	0,92**	0,85**	0,75**	-0,36**
vonj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,77**	-0,90**	-0,79**	0,67**
barva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,80**	0,73**	-0,37**
žarkost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	0,79**	-0,61**
oljavost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**	-0,70**
skupni vtis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00**

\*\* p≤0,001 statistično zelo visoko značilno; \* p≤0,01 statistično visoko značilno; p≤0,05 statistično značilno

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Zaščita rastlinskih olj pred termooksidativno razgradnjo med cvrtjem je zelo pomembna. Na hitrost razgradnje olja za cvrtje vplivajo živilo, cvrtnik, olje (maščobnokislinska sestava) in drugo (dodatek antioksidantov, protipenilcev, filtrnih sredstev). V tej študiji so edine spremenljivke vrsta olja, število cvrtij in dodatek antioksidantov. Vrsta živila, cvrtnik in pogoji cvrtja so ves čas enaki.

Rezultati so pokazali, da polinenasičenim rastlinskim oljem lahko podaljšamo čas uporabe med cvrtjem z dodatkom antioksidantov in s tem prav tako zaščitimo ocvrta živila pred nastankom sekundarnih oksidacijskih produktov ter akrilamida in jim izboljšamo senzorično kakovost.

#### 5.1.1 Spremembe v oljih

##### 5.1.1.1 Delež polarnih spojin

Vsi razgradni produkti, razen nepolarne frakcije (nespremenjeni trigliceroli) spadajo med polarne spojine. Polarne spojine štejejo kot glavni indikator kakovosti olja med cvrtjem, mnogo držav določa zgornjo mejo polarnih spojin v olju med 24 in 25 %. Polarne spojine zajamejo vse polarne materiale v olju, tudi tiste, ki nastanejo zaradi kontaminacije s cvrtim živilom (Wai, 2007; Bastida in Sánchez-Muniz, 2002).

Ne glede na vrsto olja je delež polarnih spojin v vseh vzorcih naraščal z naraščajočim številom cvrtij, najbolj v vzorcih olja brez dodatka antioksidantov. Tudi drugi raziskovalci so ugotovili, da delež polarnih spojin narašča s časom cvrtja (Houhoula in sod., 2002; Bansal in sod., 2010b; Manral in sod., 2008; Sánchez-Muniz in sod., 1994; Xu in sod., 1999).

Glede na protokol cvrtja, ki smo ga uporabili v tej študiji, izbrana polinenasičena rastlinska olja brez dodatka antioksidantov, repično, sončnično in sojino, ki se najpogosteje uporabljajo za cvrtje, dosežejo 25 % delež polarnih spojin po različnih časih cvrtja. Vzorec repičnega olja brez dodatka antioksidantov je dosegel 25 % delež polarnih spojin po 14. cvrtju, kontrolni vzorec sončničnega olja po 10. cvrtju in kontrolni vzorec sojinega olja po 8. cvrtju. Do razlik prihaja zaradi različne maščobnokislinske sestave svežih olj (preglednica 17).

V repičnem olju je delež polarnih spojin po 26. cvrtjih narasel iz začetne vrednosti 6 % na 39 % v vzorcu brez dodatka antioksidantov (A) in na 25 % v najboljšem vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G). V sončničnem olju je delež polarnih spojin po 20. cvrtju narasel iz začetne vrednosti 4 % na 41 % v vzorcu brez dodatka antioksidantov (A) in na 25 % v vzorcu olja z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G), ter v sojinem olju po 18. cvrtjih iz začetne vrednosti 7 % na 38 % v vzorcu brez dodatka antioksidantov (A) in na 25 % v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

Kljub temu, da je imelo sončnično olje najmanjši začetni delež polarnih spojin – 4 %, je delež med cvrtjem v vzorcu brez dodatka antioksidantov najbolj narastel (na 41 %), v primerjavi z repičnim in sojinim oljem. Iz maščobnokislinske sestave (preglednica 17) je razvidno, da sončnično olje vsebuje največ (62 %) linolne kisline, kar bi lahko bil razlog za največji porast polarnih spojin v primerjavi z repičnim in sojinim oljem.

Vrstni red učinkovitosti delovanja antioksidantov je bil enak pri vseh vrstah olja. Največ polarnih spojin je med cvrtjem nastalo v nezaščitenih oljih, vsi antioksidanti pa so nudili manjšo ali večjo zaščito pred nastankom polarnih spojin. Vrstni red učinkovitosti antioksidantov pri preprečevanju nastanka polarnih spojin v oljih je naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om. Olja brez dodatka antioksidantov so vsaj za polovico manj stabilna v primerjavi z vzorci olj z dodanimi antioksidanti, ki so najbolje preprečili oz. zavrli nastanek polarnih spojin.

Na vsebnost polarnih spojin vpliva vrsta olja (vsebnost linolne kisline), čas cvrtja in dodatek antioksidantov.

O učinkovitosti rožmarinovit ekstraktov na zmanjšanje deleža polarnih spojin v oljih med cvrtjem poroča več raziskovalcev. Ramalho in Jorge (2008) sta ugotovila, da dodatek rožmarinovega ekstrakta v koncentraciji 0,1 % v sojino olje zmanjša nastanek polarnih spojin za 54 %. Che Man in Tan (1999) sta primerjala učinkovitost naravnih in sintetičnih antioksidantov v palm oleinu med cvrtjem čipsa in ugotovila, da si po učinkovitosti sledijo ekstrakt rožmarina > BHA > ekstrakt žajblja > BHT. Reblova in sod. (1999) so ugotovili, da med cvrtjem krompirčka v repičnem olju segretem na 180 °C ekstrakt rožmarina zavre nastanek polarnih spojin v primerjavi z oljem brez dodatka antioksidantov. Sebedio in sod. (1990) so ugotovili, da pri cvrtju olj z različno vsebnostjo linolenske kisline nastane enak delež polarnih spojin, kar je v nasprotju z našimi ugotovitvami. Prav tako priporočajo, da se za cvrtje naj ne bi uporabljala olja z več kot 2% linolenske kisline. Casarotti in Jorge (2014) sta pri 20 urnem segrevanju sojinega olja pri temperaturi 180 °C ugotovila, da ekstrakt rožmarina boljše ščiti olje med cvrtjem kot TBHQ. Filip in sod. (2011) so ugotovili, da po 120 urnem segrevanju sončničnega olja dodatek rožmarinovega ekstrakta zmanjša delež nastalih polarnih spojin.

#### 5.1.1.2 Delež prostih maščobnih kislin

Proste maščobne kisline predstavljajo maščobne kisline, ki se odcepijo od trigliceridnih verig. Proste maščobne kisline slabo vplivajo na stabilnost olj za cvrtje in ocvrtih živil. Hitro oksidirajo in katalizirajo nadaljnjo oksidacijo polinenasičenih maščob s topljenjem in aktivacijo kovinskih soli. Preko njihove površinske aktivnosti povečajo tudi kontakt z oksidirajočimi spojinami živila in pospešujejo maščobno-proteinske reakcije. Količine prostih maščobnih kislin, ki nastanejo med cvrtjem so ponavadi premajhne, da bi se uporabljale za spremljanje kakovosti živil (Frankel, 2005).

Delež prostih maščobnih kislin v vseh oljih narašča s številom cvrtij, kar je v skladu z ugotovitvami drugih raziskovalcev (Manral in sod., 2008; Tyagi in Vasishtha, 1996; Xu in sod., 1999; Che Man in Jaswir, 2000).

Pri 25 % vsebnosti polarnih spojin repično olje vsebuje od 0,62 % do 0,79 % prostih maščobnih kislin, sončnično olje od 0,30 % do 0,36 % prostih maščobnih kislin in sojino olje od 0,50 % do 0,70 % prostih maščobnih kislin. Kljub enakemu deležu polarnih spojin olja vsebujejo različne deleže prostih maščobnih kislin, razlike se pojavljajo tudi v okviru posameznega olja.

Ob koncu cvrtja vsebuje repično olje od 0,62 % prostih maščobnih kislin v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) do 1,10 % (A) prostih maščobnih kislin v vzorcu brez dodatka antioksidantov, sončnično olje od 0,33 % prostih maščobnih kislin v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) do 0,61 % prostih maščobnih kislin v vzorcu brez dodatka antioksidantov (A) in sojino olje od 0,70 % prostih maščobnih kislin v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) do 1,31 % (A) prostih maščobnih kislin v vzorcu brez dodatka antioksidantov.

Ob koncu cvrtja v vzorcu repičnega olja zaščitene z rožmarinovim ekstraktom s CITREM-om nastane 44 % manj prostih maščobnih kislin v primerjavi s kontrolnim vzorcem, v vzorcu sončničnega olja zaščitene z rožmarinovim ekstraktom s CITREM-om nastane 40 % manj prostih maščobnih kislin v primerjavi s kontrolnim vzorcem in v vzorcu sojinega olja zaščitene z rožmarinovim ekstraktom s CITREM-om nastane 32 % manj prostih maščobnih kislin v primerjavi s kontrolnim vzorcem.

Najbolj naraste delež prostih maščobnih kislin v sojinem olju. Tako kontrolni vzorec (A) doseže po 18. cvrtju vsebnost 1,31 % prostih maščobnih kislin. Sojino olje ima glede na preglednico 17 največjo relativno stabilnost, kar pomeni, da ima najslabše razmerje nenasičenih maščobnih kislin, kar vpliva na hidrolitsko razgradnjo in s tem na porast deleža prostih maščobnih kislin.

Delež nastalih prostih maščobnih kislin med cvrtjem je odvisen tudi od vrste dodanih antioksidantov. Najboljšo zaščito vsem vrstam olja nudi rožmarinov ekstrakt s CITREM-om, po učinkovitosti mu sledijo rožmarinov ekstrakt s tokoferoli, rožmarinov ekstrakt, tokoferoli, TBHQ in BHA, največ prostih maščobnih kislin nastane v oljih brez dodatka antioksidantov.

Na porast prostih maščobnih kislin med cvrtjem vplivajo število cvrtij, vrsta olja in dodatek antioksidantov.

Che Man in Tan (1999) ter Che Man in Jaswir (2000) so ugotovili, da rožmarinov ekstrakt zmanjša nastanek prostih maščobnih kislin med cvrtjem. Tyagi in Vasishtha (1996) pa sta ugotovila, da BHA in TBHQ nista preprečila razgradnje sojinega olja med cvrtjem.

### 5.1.1.3 Vsebnost konjugiranih dienov in trienov

Absorbanca pri 232 nm nam da podatek o vsebnosti konjugiranih dienov, ki predstavlja stopnjo nastanka primarnih produktov oksidacije.

Vsebnost konjugiranih dienov in trienov v vseh oljih narašča s številom cvrtij. Do enakega zaključka so prišli Houhoula in sod. (2002), Houhoula in Oreopoulou (2004), Al-Kathani (1991), Che Man in Tan (1999), Che Man in Jaswir (2000) ter El-Sayed in Allam (2003).

Vsa olja imajo podobno začetno vsebnost konjugiranih dienov. V repičnem olju specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm naraste iz začetne vrednosti 2,56-2,69 na 10,66 v kontrolnem vzorcu (A) in 7,16 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G), v sončničnem olju iz 3,01-3,10 na 16,55 v vzorcu brez dodatka antioksidantov (A) in 8,40 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G) in v sojinem olju iz 2,75-2,96 na 12,30 v kontrolnem vzorcu (A) in 6,83 v v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

Ker so razen vrste olja pogoji cvrtja vedno enaki, so lahko edino maščobnokislinska sestava, dodatek antioksidantov in različno število cvrtij odgovorni za različno vsebnost konjugiranih dienov v posameznih oljih in vzorcih med cvrtjem.

Kljub manjšemu skupnemu številu cvrtij v primerjavi z repičnim oljem, v sončničnem olju najbolj naraste vsebnost konjugiranih dienov. Podobno kot pri deležu polarnih spojin bi lahko bil tudi za večji nastanek konjugiranih dienov razlog v večji vsebnosti linolne kisline v sončničnem olju.

Pri 25 % deležu polarnih spojin znaša specifični absorpcijski koeficient pri 232 nm, ki meri vsebnost konjugiranih dienov, v repičnem olju med 7,31 in 8,52, v sončničnem olju med 6,87 in 10,48 ter sojinem olju od 6,20 do 9,92, iz česar je razvidno, da so velike razlike v vsebnosti konjugiranih dienov med olji in tudi med posameznimi vzorci.

V repičnem olju so razlike v vsebnosti nastalih konjugiranih dienov med vzorci med cvrtjem konstantne, medtem ko v sončničnem in sojinem olju brez dodatka antioksidantov, vsebnost konjugiranih dienov znatno hitreje narašča v primerjavi z vzorci z dodatkom antioksidantov.

Največ konjugiranih dienov je v vseh oljih nastalo v vzorcih brez dodatka antioksidantov (A), najmanj pa v vzorcih z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G). Vrstni red učinkovitosti antioksidantov je bil naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

Absorbanca pri 268 nm nam da podatek o vsebnosti konjugiranih trienov, ki zajemajo konjugirane ketodiene, dienale in triene, ki nastajajo med oksidacijo polinenasičenih maščobnih kislin (Ali in sod., 2009).

Vsebnost konjugiranih trienov s časom cvrtja v vseh oljih narašča, prav tako so razlike med vzorci statistično značilne ( $p \leq 0,05$ ).

Med olji je velika razlika v začetni vsebnosti konjugiranih trienov. Začetno vsebnost konjugiranih trienov bi lahko povezali z vsebnostjo linolenske kisline v oljih (preglednica 17). Sončnično olje, ki vsebuje najmanj linolenske kisline (0,5 %) ima najnižji specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm (0,28-0,33), sojino olje vsebuje 8 % linolenske kisline in specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm znaša 1,54-1,59, repično olje, ki pa vsebuje največ linolenske kisline (11 %) ima tudi največji začetni specifični absorpcijski koeficient pri 268 nm (2,75-2,86). Iz tega sledi, da je začetna vsebnosti linolenske kisline v povezavi z vsebnostjo konjugiranih trienov v oljih.

Vsebnost konjugiranih trienov v vzorcih olj konstantno narašča. V repičnem olju smo zasledili močno zmanjšanje vsebnosti konjugiranih trienov v vzorcih z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov, kar pomeni, da rožmarinov ekstrakt dobro vpliva na zaščito linolenske kisline, ki je repično olje vsebuje največ.

Vrstni red učinkovitosti posameznih antioksidantov je bil v vseh oljih enak: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

Vsebnost konjugiranih dienov v oljih je večja od vsebnosti konjugiranih trienov, zaradi večje začetne količine linolne kisline v oljih v primerjavi z linolensko kislino.

Vsebnost konjugiranih dienov in trienov je odvisna od vrste olja, časa cvrtja in dodatka antioksidantov.

Pri enaki vsebnosti polarnih spojin (25 %) so razlike v vsebnosti konjugiranih trienov med vzorci in med olji velike. Specifični absorpcijski koeficient repičnega olja pri 268 nm znaša od 4,28 do 7,12, sončničnega olja od 1,24 do 1,67 in sojinega olja od 2,87 do 4,62.

#### 5.1.1.4 Sprememba barve

Spremembe v barvi olja so posledica kombinacije učinkov oksidacije, polimerizacije in drugih kemijskih sprememb (Maskan, 2003). Nekatere raziskave navajajo, da barva olja ni zanesljiv indikator kakovosti olja, ker na razvoj barve vplivajo tudi drugi dejavniki, kot so vrsta in količina cvrtega živila ter interakcije med živilom in oljem, ki vodijo do reakcij kot je Maillardova reakcija (Belbin, 1999).

##### 5.1.1.4.1 L\* vrednost

L\* vrednost v vseh oljih s časom cvrtja pada, kar pomeni, da olja postajajo temnejša. Tudi Xu in sod. (1999) in Maskan (2003) so ugotovili, da olja med cvrtjem potemni. S časom cvrtja najbolj potemni repično olje, vendar je tudi podvrženo največjemu številu cvrtij.

Olje lahko potemni tudi zaradi zažganih delcev hrane. Produkti Maillardove reakcije, ki nastajajo v interakcijah sestavin in hranil živila, kot so sladkor in aminokislina tudi prispevajo k potemnitvi barve olja (Maskan, 2003).

V začetni vrednosti  $L^*$  ni velikih razlik med olji. Iz začetne vrednosti približno 93 se v repičnem olju vrednost  $L^*$  po 26. cvrtjih zmanjša na 36 v vzorcu brez dodatka antioksidantov in na 42 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om, v sončničnem olju po 20. cvrtjih na 50 v vzorcu brez dodatka antioksidantov in na 58 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om in v sojinem olju po 18. cvrtjih na 53 v vzorcu brez dodatka antioksidantov in na 59 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om.

Razlike v  $L^*$  vrednosti med vzorci po končanem cvrtju so v vseh oljih statistično značilne. Najbolj potemnitvi vzorci brez dodatka antioksidantov (A), najmanj pa vzorci z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om (G).

Pri enakem deležu polarnih spojin (25 %) so opazne razlike v  $L^*$  vrednosti med olji in med vzorci. Največje razlike v  $L^*$  vrednosti so opazne pri repičnem olju, saj vzorec z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om najbolj potemni. V repičnem olju so bile opažene tudi največje razlike v  $L^*$  vrednosti takoj po dodatku antioksidantov.

Na potemnitev olja med cvrtjem vpliva vrsta olja, število cvrtij in dodatek antioksidantov.

#### 5.1.1.4.2 $a^*$ vrednost

$a^*$  vrednost z naraščajočim številom cvrtij v sončničnem in sojinem olju narašča, kar pomeni, da barva teh olj postaja vse bolj rdeča, medtem, ko  $a^*$  vrednost v repičnem olju pada, kar pomeni, da se rdeča barva izgublja.

Naraščanje  $a^*$  vrednosti je znak pretiranega porjavenja, kot tudi zmanjšanja klorofila, ki daje olju zeleno barvo (Maskan, 2003).

Barvna komponenta  $a^*$  v repičnem olju pade iz začetne vrednosti -2,3 do -7,0 v vzorcu olja brez dodatka antioksidanta oz. do -5,7 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om, v sončničnem olju naraste iz začetne vrednosti -1,0 do 6,7 v vzorcu olja brez dodatka antioksidanta oz. do 4,6 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om, ter v sojinem olju naraste iz začetne vrednosti -3,6 do 3,0 v vzorcu olja brez dodatka antioksidanta oz. do 1,3 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om. Razlike med vzorci so velike in statistično značilne.

Rdeča komponenta se najbolj razgradi v vzorcu brez dodatka antioksidantov (A) v vseh oljih, medtem ko rdečo barvo pred razgradnjo najbolj ščitijo ekstrakti rožmarina.

Pri 25 % deležu polarnih spojin so razlike med posameznimi olji in vzorci velike, saj ima repično olje vrednosti  $a^*$  od -5,7 do -5,8, sončnično olje od 3,7 do 4,7 in sojino olje od 0,3 do 1,3. Na razgradnjo rdeče barve vpliva dodatek antioksidantov, vrsta olja ter število cvrtij.



#### 5.1.1.4.3 b\* vrednost

b\* vrednost v vseh oljih z naraščajočim številom cvrtij narašča, kar pomeni, da olja postajajo bolj rumena. Med olji je velika razlika v začetni vrednosti b\*. Najmanj rumeno je sončnično olje (2,8), sledita mu repično (9,5) in sojino olje (14,8).

Višje b\* vrednosti nastajajo zaradi naravnih karotenoidov in ksantofilov prisotnih v olju. Zaradi tega je pričakovano nižanje b\* vrednosti zaradi redukcije teh pigmentov zaradi oksidacije (posvetljenje karotenoidov) ali razgradnje med cvrtjem. Zgodi se nasprotno – b\* vrednost se viša, kar pripisujemo kroman-5,6-kinonom, ki nastajajo med delno oksidacijo rastlinskih olj in povzroča povečanje rumene in rdeče barve (Maskan, 2003).

Sojino olje je najbolj rumeno in b\* komponenta se v tem olju z naraščajočim številom cvrtij najmanj spremeni. V sojinem olju b\* vrednost naraste iz začetne vrednosti 14,8 do 20,3 v vzorcu olja brez dodatka antioksidanta oz. do 18,2 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om, v sončničnem olju naraste iz začetne vrednosti 2,8 do 15,6 v vzorcu olja brez dodatka antioksidanta oz. do 9,5 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om, največja sprememba v b\* vrednosti pa se pojavi med cvrtjem repičnega olja, kjer komponenta b\* naraste iz začetne vrednosti 9,5 do 36,9 v vzorcu olja brez dodatka antioksidanta oz. do 31,0 v vzorcu z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om.

Po končanem procesu cvrtja so bili najboljši vzorci olj z dodatkom rožmarinovega ekstrakta in CITREM-a, najslabši pa vzorci brez dodatka antioksidantov.

Pri 25 % deležu polarnih spojin vrednost b\* komponente med vzorci in olji ni enaka. Največje razlike med vzorci se pojavijo v repičnem olju, najmanjše pa v sojinem olju.

Na spremembo vrednosti b\* komponente vplivajo tako vrsta olja, število cvrtij, kot dodatek antioksidantov.

#### 5.1.1.4.4 Barvna razlika vzorcev

Da bi skupno razliko barve čim boljše ocenili, smo izračunali barvno razliko vzorcev ( $\Delta E$ ), ki zajame vse tri komponente barve L\*, a\* in b\*.

V repičnem olju je barvna razlika takoj ob dodatku antioksidantov v primerjavi s kontrolnim vzorcem največja pri vzorcih z dodatkom naravnih antioksidantov, verjetno zaradi barve samih antioksidantov. Pri sončničnem in sojinem olju razlike skoraj niso vidne.

S primerjavo barvne razlike po končanem procesu cvrtja v primerjavi z začetno vrednostjo ugotovimo, da se v vseh oljih najbolj spremeni barva vzorcev brez dodatka antioksidantov.

Po končanem cvrtju je barvna razlika v primerjavi z začetno barvo v vseh oljih velika, največja je v repičnem olju, sledi sončnično olje in nato sojino olje. Do razlik v

spremembi barve prihaja zaradi različnega števila cvrtij med vzorci, iz česar sledi, da čas cvrtja vpliva na spremembo barve olja. V vseh vrstah olja poteka sprememba barve v naslednjem vrstnem redu: kontrola>BHA>TBHQ>tokoferoli>rožmarinov ekstrakt>rožmarinov ekstrakt s tokoferoli>rožmarinov ekstrakt s CITREM-om, kar pomeni, da tudi dodatek antioksidantov vpliva na spremembo barve olja.

Pri enakem deležu nastalih polarnih spojin (25 %) pa so spremembe v barvi različne tako med olji, kot med vzorci. V repičnem in sojinem olju najmanjšo barvno razliko opazimo v vzorcu brez dodatka antioksidantov, v sončničnem pa v vzorcih z dodatkom TBHQ in tokoferolov.

Na spremembe barve olja med cvrtjem vplivajo vrsta olja, število cvrtij in dodatek antioksidantov.

Maskan (2003) je ugotovil, da v sončničnem olju med cvrtjem  $L^*$  vrednost pada,  $a^*$  in  $b^*$  vrednost pa naraščata, kar je skladno z našimi ugotovitvami.

## **5.1.2 Spremembe v krompirčku**

### **5.1.2.1 Vsebnost malonaldehida**

Malonaldehid je oksidacijski produkt nenasičenih maščobnih kislin, ki ima karcinogene in mutagene lastnosti (Mostaghim in sod., 2013).

Vsebnost malonaldehida v vseh vzorcih krompirčka z naraščajočim številom cvrtij narašča, razlike med vzorci so statistično značilne.

Začetna vsebnost malonaldehida v predocvrtem krompirčku znaša 0,2 mg/kg in naraste v vzorcih brez dodatka antioksidantov na 2,7 mg/kg v repičnem olju, na 2,2 mg/kg v sončničnem olju in na 2,0 mg/kg v sojinem olju. Iz tega sledi, da število cvrtij vpliva na porast vsebnosti malonaldehida v ocvrtem krompirčku, saj se je repično olje največkrat cvrlo in so vsebnosti malonaldehida v ocvrtem krompirčku temu primerno višje, medtem ko se je najmanjkrat cvrlo sojino olje in so vsebnosti malonaldehida v ocvrtem krompirčku nižje.

Tudi razlike med vzorci krompirčka ocvrtega v posameznih oljih so statistično značilne. Najbolj naraste vsebnost malonaldehida v vzorcih krompirčka ocvrtih v oljih brez dodatka antioksidantov in najmanj v vzorcih krompirčka ocvrtih v oljih z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om. Iz tega sledi, da se zaščita iz olja prenaša tudi na ocvrt krompirček in da razgradni produkti olj za cvrtje vplivajo na količino nastalega malonaldehida v vzorcih ocvrtega krompirčka.

Vrstni red delovanja antioksidantov na nastanek malonaldehida v ocvrtem krompirčku je naslednji: kontrola<BHA<TBHQ<tokoferoli<rožmarinov ekstrakt<rožmarinov ekstrakt s tokoferoli<rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

Pri 25 % deležu polarnih spojin v oljih znaša vsebnost malonaldehida v ocvrtem krompirčku med 1,2 in 1,6 mg/kg, največje razlike med vzorci se pojavijo v količini nastalega malonaldehida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju.

Na vsebnost malonaldehida v ocvrtem krompirčku vplivajo čas cvrtja olj in dodatek antioksidantov, kar so ugotovili tudi Mostaghim in sod. (2013).

#### 5.1.2.2 Spremembe v senzorični oceni

##### 5.1.2.2.1 Vonj

Vonj ocvrtega krompirčka se slabša z naraščajočim številom cvrtij.

Iz začetne ocene 7 po koncu cvrtja ocene vonja ocvrtega krompirčka v repičnem olju padejo na 1,3 točke za krompirček ocvrt v olju brez dodatka antioksidantov (A) in na 5,8 točk za krompirček ocvrt v olju z dodatkom rožmarinovega ekstrakta in CITREM-a (G). Ocene vonja ocvrtega krompirčka v sončničnem in sojinem olju pa padejo na 3 točke v krompirčku ocvrtem v oljih brez dodatka antioksidantov in na 6 točk v krompirčku ocvrtem v oljih z dodatkom rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om. Najbolj se vonj ob koncu cvrtja spremeni krompirčku cvrtem v repičnem olju, ki se je najdlje cvrlo, kar pomeni, da število cvrtij oz. čas cvrtja vpliva na senzorično komponento vonja ocvrtega krompirčka.

Najboljše ocene ob koncu cvrtja v vseh oljih dosežejo krompirčki ocvrti v oljih z dodatkom rožmarinovih ekstraktov, v padajočem vrstnem redu so jim sledijo krompirčki ocvrti v oljih z dodatkom tokoferolov, TBHQ, BHA in olju brez dodatka antioksidantov.

Tudi pri 25 % deležu polarnih spojin v oljih so najslabše ocene dosegli krompirčki ocvrti v repičnem olju, ki so bili izpostavljeni večjemu številu cvrtij. Prav tako vzorci pri enakem deležu polarnih spojin niso enako ocenjeni. Razlika v oceni točk je pri repičnem olju znašala 2 točki, pri sončničnem in sojinem olju pa 1 točko.

Na vonj ocvrtega krompirčka vplivajo čas cvrtja, vrsta olja in dodatek antioksidantov.

##### 5.1.2.2.2 Barva

S časom cvrtja se spreminja tudi barva ocvrtega krompirčka, ki postaja vse temnejša.

Vsi vzorci ocvrtega krompirčka so do 4. cvrtja presvetli in šele po 4. cvrtju dosežejo značilno zlato rumeno barvo ocvrtega krompirčka. Optimalno barvo najdlje obdržijo krompirčki ocvrti v oljih z dodatkom rožmarinovih ekstraktov.

Vsem vzorcem krompirčka ocvrtega v repičnem olju se barva najbolj spremeni, saj je olje izpostavljeno večjemu številu cvrtij v primerjavi s sončničnim in sojinim oljem, tudi barva repičnega olja se najbolj spremeni.

Razlike med vzorci so statistično značilne. Najbolj so potemneli vzorci krompirčka ocvrti v olju brez dodatka antioksidantov. Vrstni red delovanja antioksidantov na zaščito barve ocvrtega krompirčka je naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

Tudi pri 25 % deležu polarnih spojin je največja sprememba barve opazna v krompirčku ocvrtem v repičnem olju, sledita sončnično in sojino olje, tudi med vzorci so opazne barvne razlike.

Na spremembo barve ocvrtega krompirčka med cvrtjem vpliva čas cvrtja, vrsta olja in dodatek antioksidantov.

Čeprav glavne reakcije, ki prispevajo k zlati barvi ocvrtih izdelkov nastanejo med proteini in ogljikovimi hidrati (Maillardova reakcija), tudi maščobe igrajo vlogo v neencimatskem porjavenju (Dobarganes in sod., 2000), kar smo potrdili tudi z rezultati naše raziskave.

#### 5.1.2.2.3 Žarkost

Žarkost ocvrtega krompirčka narašča z naraščajočim številom cvrtij v vseh oljih. Najprej se žarkost začneja spreminjati v nekaterih vzorcih krompirčka ocvrtih v sojinem olju (po 2. cvrtju), sledijo vzorci krompirčka ocvrti v sončničnem olju (po 4. cvrtju) in najkasneje vzorci krompirčka ocvrti v repičnem olju (po 6. cvrtju), kar pomeni, da je ocena žarkosti povezana z relativno stabilnostjo olja oz. maščobno kislinsko sestavo olj.

Po končanem postopku cvrtja so v vseh oljih najbolj žarki krompirčki ocvrti v oljih brez dodatka antioksidantov, v padajočem vrstnem redu mu sledijo vzorci krompirčka ocvrti v oljih z dodatkom BHA, TBHQ, tokoferolov, rožmarinovega ekstrakta, rožmarinovega ekstrakta s tokoferoli in rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om. Rožmarinovi ekstrakti zelo dobro ščitijo ocvrt krompirček pred pojavom žarkosti, najbolj rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

Pri 25 % deležu polarnih spojin v oljih je žarkost vzorcev krompirčka ocvrtih v repičnem in sončničnem olju ocenjena od 1,8 do 2,4 točke, ter vzorcev krompirčka ocvrtega v sojinem olju od 1,4 do 1,8, kar pomeni, da so že delno žarki. Vsebnost malonaldehida, ki vpliva na oceno žarkosti, pri vsebnosti 25 % polarnih spojin v vzorcih ocvrtega krompirčka znaša od 1,2 do 1,6 mg/kg. V splošnem lahko iz rezultatov poskusa povzamemo, da pri vsebnosti malonaldehida pod 1 mg/kg žarkost še ni zaznavna.

Na spremembo ocene žarkosti med cvrtjem vpliva čas cvrtja, vrsta olja in dodatek antioksidantov.

#### 5.1.2.2.4 Oljavost

Oljavost ocvrtega krompirčka narašča z naraščajočim številom cvrtij, najbolj v repičnem olju in najmanj v sojinem olju, kar pomeni, da je absorpcija olja v živilo odvisna tudi od časa cvrtja.

Načeloma pa so ob koncu cvrtja razlike med vzorci ocvrtega krompirčka statistično značilne, dodatek antioksidantov znatno vpliva na občutek oljavosti. V vseh oljih je vrstni red delovanja antioksidantov na zaščito pred občutkom oljavosti naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

Pri 25 % deležu polarnih spojin so razlike v oceni oljavosti med olji majhne, prav tako tudi razlike med posameznimi vzorci niso velike, vsi vzorci so sprejemljivi.

Tudi Pedreschi in Zuñiga (2009) sta ugotovila, da stopnja razgradnje olja za cvrtje vpliva na absorpcijo olja v živilo.

Na spremembo občutka oljavosti med cvrtjem vpliva čas cvrtja, vrsta olja in dodatek antioksidantov.

#### 5.1.2.2.5 Skupni vtis

Ocena skupnega vtisa ocvrtega krompirčka je v vseh oljih in vzorcih do 4. cvrtja nižja, zaradi neznačilne, presvetle barve krompirčka.

Skupni vtis krompirčka ocvrtega v repičnem olju brez dodatka antioksidantov je najbolje ocenjen šele po 8. cvrtju in prične nato padati, v sončničnem in sojinem olju pa po 4. cvrtju, vendar začne takoj strmo padati. Dodatek antioksidantov statistično značilno vpliva na oceno skupnega vtisa ocvrtega krompirčka. Ocena skupnega vtisa krompirčka ocvrtega v repičnem olju z dodatkom rožmarinovega ekstrakta in CITREM-a ima do konca cvrtja najboljše vrednosti.

Vrstni red delovanja antioksidantov na oceno skupnega vtisa je naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

Pri 25 % deležu polarnih spojin so razlike v oceni skupnega vtisa med olji majhne, prav tako tudi razlike med posameznimi vzorci niso velike.

Na oceno skupnega vtisa med cvrtjem vpliva čas cvrtja, vrsta olja in dodatek antioksidantov.

#### 5.1.2.3 Vsebnost akrilamida

V oljih za cvrtje in ocvrtih živilih je identificiranih že mnogo toksičnih razgradnih produktov, seznam se še daljša. Med njimi je dosti pozornosti pritegnil akrilamid, ne le

zaradi nenavadno visoke toksičnosti, ampak tudi zaradi tega, ker lahko nastane v koncentracijah, ki povzročajo zdravstvene težave (Boskou, 2011; Friedman, 2003).

Mucci in Wilson (2008) sta ugotovila, da več kot tretjino živil zaužitih v Združenih državah Amerike in v Evropi, vsebuje akrilamid. Zaradi reaktivnosti akrilamid spreminja proteine, nukleinske kisline in druge biomolekule, kar vodi k številnim boleznim in zdravstvenim stanjem (Lo Pachin in sod., 2008; Niki, 2009).

Vsebnost akrilamida v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju z naraščajočim številom cvrtij narašča, razlike med vzorci so ob koncu cvrtja statistično značilne.

Vrstni red delovanja antioksidantov v oljih na zmanjšanje nastanka akrilamida v ocvrtem krompirčku je naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om. Dodatek rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om sončničnemu olju po 20. cvrtjih zmanjša količino nastalega akrilamida v ocvrtem krompirčku v primerjavi z vzorcem sončničnega olja brez dodatka antioksidantov za 44 %.

Najmanj akrilamida nastane v krompirčku ocvrtem v sončničnem olju z dodanimi rožmarinovimi ekstrakti.

Evropska Unija priporoča vsebnost 600 µg/kg akrilamida (Evropska komisija, 2011) kot najvišjo dovoljeno vsebnost v živilih. Iz dobljenih podatkov je razvidno, da pri vseh vzorcih pri 25 % deležu polarnih spojin vsebnost akrilamida to mejo presega.

Interakcija med asparaginom in reducirajočimi sladkorji je najbolj znan mehanizem nastanka akrilamida v živilih (Weishaar, 2004; Taeymans in sod., 2004), vendar pa statistično značilno zmanjšanje količine akrilamida, kot posledici dodatka antioksidantov v tej študiji jasno kaže, da je v mehanizmu nastanka akrilamida vključena oksidacija maščob. Prav tako rezultati te raziskave podpirajo opažanja modelnih študij Zamore in Hidalgo (2008), da oksidacija maščobnih kislin povzroča nastanek prekurzorjev potrebnih za nastanek akrilamida.

V literaturi so navedene naslednje metode za zmanjšanje vsebnosti akrilamida v ocvrtih živilih med cvrtjem:

- modifikacija surovin (npr. ustrezna sorta krompirja, pogoji hranjenja, kontrola vsebnosti reducirajočih sladkorjev in asparagina) (Taeymans in sod., 2004),
- optimizacija procesnih pogojev (npr. temperatura in čas cvrtja) (Taeymans in sod., 2004), vakuumsko cvrtje (Granda in Moreira, 2005),
- dodatek aditivov (Taeymans in sod., 2004).

Vzgoja novih sort krompirja z nizko vsebnostjo prekurzorjev akrilamida je draga metoda, ki vzame veliko časa, uspeh pa ni zagotovljen (Matthaus, 2009). Nadalje je tudi vgradnja vakuumskega sistema v obratih cvrtja draga, zahteva dosti dela in je po vsej verjetnosti nemogoča v trenutnem stanju tehnologije. Temperaturo in čas cvrtja se da prilagoditi, vendar imata vpliv na senzorično kakovost ocvrtih izdelkov. Ostane še dodatek aditivov in rezultati naše raziskave so pokazali, da dodatek antioksidantov

občutno zmanjša tako stopnjo razgradnih procesov v olju kot tudi nastanek akrilamida v ocvrtem krompirčku.

Na nastanek akrilamida med cvrtjem vplivata čas cvrtja in dodatek antioksidantov.

### 5.1.3 Korelacije

Eden od namenov naše raziskave je bil ugotoviti, s katerim od ocenjevanih parametrov bi najlažje in z najmanj tveganja določali stopnjo razgradnje olja in kateri parametri olja so v tesni povezavi s parametri ocvrtega krompirčka.

Ugotovili smo, da vsi parametri naraščajo s časom cvrtja in da so med posameznimi parametri zelo tesne povezave. Vendar pa kljub temu, razen določanja polarnih spojin, ni smiselno uporabljati drugih parametrov za ocenjevanje stopnje razgradnje olja, ker so količine v primerjavi z deležem polarnih spojin, ki zajame vse razgradne produkte, zelo majhne in ne zajamejo skupne razgradnje olja, ampak samo del (s prostimi maščobnimi kislinami merimo samo hidrolitsko razgradnjo, s konjugiranimi dieni dobimo podatek o naraščanju spojin s konjugiranimi dvemi dvojnimi vezmi, s konjugiranimi trieni dobimo podatek o količini spojin s konjugiranimi tremi dvojnimi vezmi, barva je odvisna od vrste olja, itd.).

Prav tako smo ugotovili, da kljub visoki korelaciji med deležem polarnih spojin in deležem prostih maščobnih kislin, v naši študiji proste maščobne kisline niso dosegle vsebnosti 2 %, ki v nekaterih državah velja kot meja za zavrženje olja, kljub temu, da so polarne spojine že bistveno prekoračile mejo 25 %.

Prav tako ostali parametri kakovosti olja in ocvrtega krompirčka kljub visokim korelacijam skozi proces cvrtja, pri vsebnosti 25 % polarnih spojin niso prisotni v enakih količinah, nekateri tudi presegajo meje sprejemljivosti (ocene žarkosti, barve, vonja in skupnega vtisa ocvrtega krompirčka, vsebnost akrilamida v ocvrtem krompirčku).

Vsebnost polarnih spojin v olju je prav tako v tesni povezavi z vsebnostjo akrilamida v ocvrtem krompirčku, vendar je vsebnost akrilamida že pred nastankom 25 % polarnih spojin presegala dovoljeno mejo 600 µg/kg, kar dokazuje, da ne moremo uporabiti posameznega parametra kakovosti olja za ocenitev kakovosti ocvrtega krompirčka.

Korelacije med posameznimi parametri so ugotavljali tudi raziskovalci. Ugotovili so linearne korelacije med polarnimi spojinami, prostimi maščobnimi kislinami in časom cvrtja (Reblova in sod., 1999; Xu in sod., 1999; Bheemreddy in sod., 2002; Manral in sod., 2008) in polarnimi spojinami in časom cvrtja (Farhoosh in Tavassoli-Karfrani, 2010; Sánchez-Muniz in sod., 1994), med polarnimi spojinami in barvo olja (Sánchez-Muniz in sod., 1994; Manral in sod., 2008), med prostimi maščobnimi kislinami in barvo olja (Bheemreddy in sod., 2002), vsebnostjo malonaldehida in žarkim oksuom (Che Man in Tan, 1999) vendar nihče ni primerjal mejnih vrednosti posameznih parametrov.

### 5.1.4 Razlike med olji

Repično, sončnično in sojino olje se razlikujejo v sestavi maščobnih kislin (preglednica 17), iz česar izhaja tudi različna relativna stabilnost (preglednica 18).

Ugotovili smo že, da čas cvrtja vpliva na nastanek razgradnih produktov med cvrtjem. Da bi ugotovili razlike med olji brez vpliva časa cvrtja, smo olja primerjali po 18. cvrtjih (vsa olja smo cvrli vsaj 18 krat).

Glede na preglednico 1 naj bi olja pred cvrtjem vsebovala med 2 in 4 % polarnih spojin in med 0,03 % in 0,05 % prostih maščobnih kislin. Rezultati naših meritev kažejo, da so začetne vrednosti komercialno dostopnih rastlinskih olj (razen sončničnega) presegale priporočene vrednosti. Repično olje je pred cvrtjem vsebovalo 6 % polarnih spojin, sončnično olje 4 % in sojino olje 7 %. Tudi delež prostih maščobnih kislin je bil na meji priporočene sprejemljivosti v repičnem in sojinem olju, medtem ko je vsebnost prostih maščob v sončničnem olju v okviru priporočenih vrednosti, kar pomeni, da komercialno dostopna olja niso popolnoma primerna za cvrtje in je še toliko pomembneje, da so zaščitena z ustreznimi antioksidanti.

V preglednici 70 so prikazani osnovni statistični parametri vseh meritev poskusa. Poskus je bil opravljen na treh različnih oljih, vsakemu olju so bili dodani enaki antioksidanti.

**Preglednica 70** Osnovni statistični parametri za instrumentalne, kemijske in senzorične parametre olj za cvrtje in ocvrtega krompirčka

**Table 70** Basic statistical parameters of instrumental, chemical and sensorial parameters of frying oil and fried potato

Parameter oz. lastnost	n	$\bar{x}$	min	max	s.o.	KV (%)
polarne spojine (%)	735	18,39	4,00	40,50	8,99	49
proste maščobne kisline (%)	735	0,38	0,03	1,34	0,29	76
konjugirani dieni	735	6,27	2,55	16,57	2,52	40
konjugirani trieni	735	3,31	0,27	9,52	2,11	64
L*	735	67,85	8,26	96,83	16,18	24
a*	735	-1,61	-6,97	6,69	3,55	-306
b*	735	15,81	2,69	38,55	8,80	56
TBA vrednost (mg/kg)	735	1,06	0,20	2,72	0,50	48
vonj (1-7 točk)	1225	5,85	1,00	7,00	1,41	24
barva (1-4-7 točk)	1225	4,37	1,00	7,00	1,34	31
žarkost (0-5 točk)	1225	1,23	0,00	5,00	1,30	105
oljavost (0-5 točk)	1225	0,51	0,00	4,00	0,85	165
skupni vtis (1-7 točk)	1225	5,77	1,00	7,00	1,20	21
akrilamid (µg/kg)	231	479,81	177,00	1274,00	305,20	64

n - število obravnavanj;  $\bar{x}$  - povprečna vrednost; min - minimalna vrednost; max - maksimalna vrednost; s.o.- standardni odklon; KV (%) - koeficient variabilnosti



Delež polarnih spojin po 18. cvrtjih je, ne glede na začetno vrednost, odvisen od vrste olja, saj s povečano stopnjo nenasičenja oz. večjo relativno stabilnostjo, narašča tudi delež nastalih polarnih spojin. Do enakega zaključka so prišli tudi Takeoka in sod. (1997), ki so segrevali repično in sojino olje ter ugotovili, da se v oljih z višjo vsebnostjo nenasičenih maščobnih kislin, tvori več polarnih spojin.

Na nastanek prostih maščobnih kislin po enakem številu cvrtij vrsta oz. sestava olja nima posebnega vpliva, saj največ prostih maščobnih kislin nastane v sojinem olju in najmanj v sončničnem olju, kljub podobni začetni vsebnosti prostih maščobnih kislin.

Glede na to, da so proste maščobne kisline del polarnih spojin je njihov delež relativno nizek in prav zaradi tega raziskovalci ugotavljajo, da določanje prostih maščobnih kislin ni primerna metoda za določanje stopnje razgradnje olja (Frankel, 2005).

Prav tako je v literaturi navedena meja 2 % prostih maščobnih kislin kot meja za zavrženje olja (Matthaus, 2006). Glede na rezultate naše raziskave po koncu cvrtja, tudi najslabši vzorci niso dosegli takšnega deleža prostih maščobnih kislin, kar pomeni, da bi se potemtakem ta olja kljub visokemu deležu polarnih spojin lahko še naprej uporabljala. Iz tega sledi, da določanje deleža prostih maščobnih kislin prav zagotovo ni primerna metoda za določanje stopnje razgradnje olja.

Po 18. cvrtjih v sončničnem olju nastane največ konjugiranih dienov, v sojinem olju nekaj manj in v repičnem olju najmanj, kar pomeni, da na vsebnost konjugiranih dienov vpliva začetna količina linolne kisline v oljih.

Sončnično olje vsebuje pred cvrtjem občutno manjšo količino konjugiranih trienov (0,32), v primerjavi s sojinim oljem (1,55) in repičnim oljem (2,80). Po 18. cvrtjih je vrstni red nastale količine konjugiranih trienov v vseh vzorcih enak. Repično olje vsebuje največ linolenske kisline in zato tudi največ konjugiranih trienov.

Repično olje, ki vsebuje največ linolenske kisline, je po 18. cvrtjih najbolj potemnelo, sojino olje, ki pa vsebuje le nekaj manj linolenske kisline, pa je najmanj potemnelo, kar ni popolnoma v skladu z ugotovitvami Xu in sod. (1999), ki so ugotovili, da višja vsebnost linolenske kisline v olju povzroča temnejšo barvo olja po koncu cvrtja.

Polinenasičene maščobne kisline, še posebej linolna in linolenska kislina so primarne tarče oksidativne razgradnje. Kot je bilo že omenjeno, je lahko obseg razgradnje teh maščobnih kislin zanesljiv indikator uspešnosti cvrtja olja (Dijkstra in sod., 2007).

a\* vrednost je pri repičnem olju padala, pri sojinem in sončninem pa naraščala, kar pomeni, da na padanje/naraščanje a\* vrednosti vplivata čas cvrtja in sestava olja in v tem primeru verjetno tudi vsebnost naravno prisotnih barvil v olju.

b\* vrednost v vseh oljih narašča s časom cvrtja, po 18. cvrtjih najbolj v repičnem olju in najmanj v sojinem olju, kar je v korelaciji z L\* vrednostjo.

Vsebnost malonaldehida je odvisna od relativne stabilnosti olj oz. stopnje nenasičenosti olj, saj je po 18. cvrtjih najbolj narastla v krompirčku ocvrtem v sojinem olju, sledi krompirček ocvrt v sončničnem in repičnem olju. Prav tako stopnja nenasičenosti olj vpliva na senzorične lastnosti ocvrtega krompirčka.

Iz preglednice 71 je razvidno, da na vse ocenjene parametre olj vplivajo tako vrsta olja, število cvrtij in dodatek antioksidantov, posamezno ali v kombinaciji. Enako velja za vsebnost malonaldehida v ocvrtem krompirčku.

Posamezni viri variabilnosti vplivajo na senzorične parameter ocvrtega krompirčka, kombinacija virov variabilnosti pa statistično značilno ne vpliva na senzorične parameter vonja, barve in oljavosti, prav tako ima olje nekoliko slabši vpliv na ocene vonja in barve.

**Preglednica 71** Viri variabilnosti in statistične značilnosti njihovega vpliva na instrumentalne, kemijske in senzorične parametre sojinega olja in krompirčka ocvrtega v sojinem olju

**Table 71** Sources of variability and statistical properties of their influence on instrumental, chemical and sensory parameters of rapeseed, sunflower, soy oil oil and potatoes fried in rapeseed, sunflower, soy oil

parameter	vir variabilnosti (p-vrednost)						
	olje	cvrtje	vzorec	olje x cvrtje	olje x vzorec	cvrtje x vzorec	olje x cvrtje x vzorec
olja							
polarne spojine (%)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
proste maščobne kisline (%)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
konjugirani dieni	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
konjugirani trieni	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
L*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
a*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
b*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ocvrt krompirček							
vsebnost malonaldehida (mg/kg)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
vsebnost akrilamida (mg/kg)		<0,001	<0,001			<0,001	
vonj (1-7 točk)	0,0084	<0,001	<0,001	0,1377	0,4774	<0,001	0,8160
barva (1-4-7 točk)	0,0035	<0,001	<0,001	0,1843	0,9918	<0,001	1,0000
žarkost (0-5 točk)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0006	<0,001	0,7872
oljavost (0-5 točk)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,7122
skupni vtis (1-7 točk)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0870

p≤0,001 statistično zelo visoko značilno; p≤0,01 statistično visoko značilno; p≤0,05 statistično značilno, p>0,05 statistično neznačilno

### 5.1.5 Razlike med vzorci

Dodatek antioksidantov v rastlinskih oljih zavre nastanek tako primarnih oksidacijskih produktov hidroperoksidov, kot tudi sekundarnih razgradnih produktov, zaščita se prenese tudi na ocvrto živilo.

V skladu s pričakovanjem rožmarinov ekstrakt nudi statistično značilno boljšo zaščito rastlinskemu oljem med cvrtjem. Vrstni red delovanja antioksidantov v vseh oljih v naraščajočem vrstnem redu je naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om.

V tej študiji smo ugotovili visoko aktivnost vezanja radikalov rožmarinovega ekstrakta, ki je značilno boljši od tokoferolov in sintetičnih antioksidantov.

Reda (2011) je ugotovila, da se BHA in TBHQ pri temperaturi 180 °C razgradita in imata zaradi tega majhno zaščitno funkcijo v rastlinskih oljih med cvrtjem.

Almedia-Doria in Regitano-D'Arce (2000) ter Gordon in Kourimska (1995) so ugotovili, da pri nižjih temperaturah TBHQ deluje boljše od rožmarinovega ekstrakta, BHA in BHT pa enako kot rožmarinov ekstrakt, Zhang in sod. (2010) pa so odkrili, da TBHQ deluje boljše od rožmarinovega ekstrakta, BHA in BHT pa slabše. Rezultati so rahlo nasprotujoči, vendar poskusi niso bili izvajani pod enakimi pogoji.

Termogravimetrična analiza sončničnega, sojinega in koruznega olja pri 190 °C je pokazala, da je rožmarinov ekstrakt stabilen pri temperaturah cvrtja olja in je boljši od TBHQ (Cordeiro in sod., 2013). Prav tako so v nasprotju z Almedia-Doria in Regitano-D'Arce (2000), Gordonom in Kourimsko (1995n) ter Zhangom in sod. (2010) ugotovili, da je rožmarinov ekstrakt pri 60 °C boljši od TBHQ.

Prisotnost kateholne strukture (*orto*-dihidroksi skupin) v aromatskem obroču fenolne diterpenske strukture (npr. karnozolna kislina, epirožmanol) je pomemben strukturni element za visoko antioksidativno učinkovitost rožmarinovitih ekstraktov (Shan in sod., 2005). Sintetični fenolni antioksidanti, BHA in BHT, imajo enojen aromatski obroč z eno hidroksilno skupino, ki je sposobna donirati vodikov atom. Karnozolna kislina ima dve hidroksilni skupini, ki služita kot donorja vodikovih atomov. Te hidroksilne skupine lahko vežejo tudi prooksidativne kovine in tako preprečujejo oksidacijo preko dveh mehanizmov (Brewer, 2011).

Tokoferoli delujejo slabše od rožmarinovitih ekstraktov brez ali z dodatki, kombinacija rožmarinovega ekstrakta s tokoferoli pa boljše od samega rožmarinovega ekstrakta.

Tokoferoli so glavni antioksidanti, ki so naravno prisotni v oljih in nudijo zaščito pred termooksidativno razgradnjo z doniranjem vodikovega atoma lipidnim peroksidnim radikalom in s tem vplivajo na reakcije propagacije ali iniciacije (Frankel, 2005).

Hitrejšo izgubo tokoferolov pri višjih temperaturah lahko pripišemo naraščanju stopnje iniciacije ali propagacije, nastaja večja koncentracija maščobnih peroksidnih radikalov, ki posledično povišajo zahtevo po številu molekul tokoferolov, ki sodelujejo v antioksidativni aktivnosti. Glede na raziskave Verleyena in sod. (2002), prihaja do razgradnje tokoferolov tudi zaradi neselektivne oksidacije nenasičenih maščobnih kislin in tokoferolov z visoko reaktivnimi alkoksilnimi in hidroksilnimi radikali, ki nastajajo pri razgradnji hidroperoksidov. Stopnja razgradnje hidroperoksidov narašča s temperaturo (Frankel, 2005).

Nogala-Kalucka in sod. (2005) so dodali različne antioksidante v repično olje in naredili test z rancimatom pri 100 °C. Ugotovili so, da je najbolje deloval rožmarinov ekstrakt. Vrstni red delovanja antioksidantov v naraščajočem vrstnem redu je bil naslednji: kontrola < mešani tokoferoli <  $\delta$ -tokoferoli <  $\alpha$ -tokoferoli < BHT <  $\gamma$ -tokoferoli < rožmarinov ekstrakt, kar pomeni, da rožmarinov ekstrakt deluje bolje od sintetičnega antioksidanta BHT in vseh vrst tokoferolov.

Lalas in Dortoglou (2003) sta ugotovila, da je v sojinem olju pri rancimat testu na 100 °C rožmarinov ekstrakt deloval bolje od  $\alpha$ -tokoferolov in BHA.

Reische in sod. (2002) so ugotovili, da tokoferoli in rožmarinov ekstrakt v določenih aplikacijah delujejo tudi sinergistično.

Za nekatere fenolne kisline in fosfolipide poročajo, da regenerirajo tokoferole (Weng in Gordon, 1993; Facino, 1998). Dejansko je dopolnitev tokoferolov s fenolnimi antioksidanti priporočen način zaviranja razgradnje tokoferolov med cvrtjem (Sánchez-Muniz in Bastida, 2006).

Casarotti in Jorge (2014) sta ugotovila, da med cvrtjem v sojinem olju rožmarinov ekstrakt ščiti tokoferole pred razgradnjo, kar bi lahko bil še dodatni razlog za sinergistično delovanje mešanice rožmarinovega ekstrakta s tokoferoli.

V tem delu smo dokazali manjšo učinkovitost tokoferolov v primerjavi z rožmarinovim ekstraktom pri zaščiti polinenasičenih olj med cvrtjem, predvidoma zaradi njihove slabše toplotne stabilnosti in toplotne deaktivacije (Frankel, 2005).

Med vsemi preizkušenimi antioksidanti nudi najboljšo zaščito oljem med cvrtjem kombinacija rožmarinovega ekstrakta in CITREM-a. Oljem za cvrtje, ki so vsebovala 0,1 % rožmarinovega ekstrakta s CITREM-om, se čas cvrtja glede na delež polarnih spojin podaljša za 86 % v repičnem olju, 100 % v sončničnem olju in 125 % v sojinem olju.

Dobro je znano, da antioksidativne spojine okrepijo druga drugo s sodelujočim učinkom, ki se imenuje sinergizem. To je še posebej pomembno, ko se uporabljajo antioksidanti, ki vežejo radikale (kot so fenolne spojine) v kombinaciji z antioksidanti, ki delujejo kot vezalci kovin, kot je citronska kislina (Frankel, 2005).

Značilno večjo antioksidativno aktivnost kombinacije rožmarinovega ekstrakta in CITREM-a v primerjavi s samim rožmarinovim ekstraktom lahko pripišemo različnemu načinu delovanja. Rožmarinov ekstrakt je prekinjevalec verig in donor vodikovih elektronov), medtem ko CITREM vsebuje citrsko kislino, ki veže kovine. CITREM je prav tako površinsko aktivna snov, ki oblikuje pregrado za kisik med oljem in zrakom, s čimer omeji količino kisika, ki prodira v olje za cvrtje (Porter, 1980; Calvo, 1994).

Razgradnja hidroperoksidov v alkoksi in hidroksilne radikale zaradi vpliva kovinskih ionov je preprečena z dodatkom CITREM-a, ki še nadalje zmanjša število dostopnih radikalov za iniciacijo in propagacijo razgradnje maščobnih kislin. Sinergistično delovanje rožmarinovega ekstrakta in CITREM-a očitno zagotavlja, da sta esencialni maščobni kislini, linolna in linolenska, boljše zaščiteni v olju z dodatkom teh antioksidantov.

Manjši sinergizem med rožmarinovim ekstraktom in tokoferoli lahko pripišemo podobnemu mehanizmu antioksidativne aktivnosti, vezanju radikalov (Frankel, 2005).

Večji sinergizem se običajno opazi, če individualni antioksidanti delujejo z različnimi mehanizmi (Frankel, 2005).

Sam postopek cvrtja ne vpliva le na olje za cvrtje, ampak posledično vpliva tudi na prehransko kakovost, skladiščno stabilnost in na termooksidacijske razgradne produkte ocvrtih živil.

Rezultati naše študije jasno poudarjajo pomembnost zaščite polinenasičenih olj za cvrtje z dodatkom antioksidantov.

Naše rezultate smo primerjali z ugotovitvami drugih avtorjev. Vendar pa moramo upoštevati, da posamezne ugotovitve različnih avtorjev med seboj niso popolnoma primerljive, saj so bili poskusi izvedeni pod različnimi pogoji.

Zaščitni učinek naravnih ekstraktov med cvrtjem je zelo variabilen, zaradi neločljivih karakteristik naravnih produktov, vključno s kompleksnostjo procesa cvrtja. Po eni strani je sestava ekstrakta, ki je ponavadi slabo definirana, lahko različna, odvisno od sorte rastline, metode ekstrakcije, uporabljenega topila za ekstrakcijo, dodane koncentracije in drugih pogojev. Po drugi strani je antioksidativni učinek odvisen od pogojev cvrtja, stopnje nenasičenja olja in od vsebnosti in kemijske zgradbe drugih manjših spojin olja, ki so prisotne in imajo prooksidativne ali antioksidativne lastnosti (Marmesat in sod., 2010).

## 5.2 SKLEPI

Na podlagi dobljenih rezultatov lahko povzamemo naslednje ugotovitve:

- Obseg termooksidacijskih sprememb v oljih se s časom cvrtja povečuje. Hipotezo smo potrdili.
- Maščobnokislinska sestava vpliva na razgradnjo olj, saj je sojino olje najmanj stabilno zaradi večje skupne stopnje nenasičenosti, sledi mu sončnično olje, najbolj stabilno je repično olje, ki ima kljub največji vsebnosti linolenske kisline najmanjšo skupno stopnjo nenasičenosti. Hipotezo smo potrdili.
- Barva olj je med cvrtjem potemnela. Hipotezo smo potrdili.
- Na razgradnjo olj in ocvrtega krompirčka med cvrtjem vpliva dodatek antioksidantov. Sintetični antioksidanti nudijo oljem dosti manjšo zaščito v primerjavi z naravnimi antioksidanti. Vrstni red delovanja antioksidantov v naraščajočem vrstnem redu je: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om. Hipotezo smo potrdili.
- Olja in ocvrt krompirček pred razgradnimi procesi najboljše ščitijo ekstrakti rožmarina. Rožmarinov ekstrakt v kombinaciji s CITREM-om od vseh rožmarinovitih ekstraktov najbolje ščiti olja pred razgradnjo, prav tako ocvrta živila, saj v največji meri prepreči nastanek sekundarnih oksidacijskih produktov v olju in akrilamida v ocvrtem krompirčku ter najbolje ohrani senzorične lastnosti ocvrtega krompirčka. Hipotezo smo potrdili.
- Pri kombinaciji rožmarinovitih ekstraktov s tokoferoli in CITREM-om smo ugotovili sinergistični učinek, ki je večji pri kombinaciji rožmarinovega ekstrakta in CITREM-a zaradi njunega različnega mehanizma delovanja.
- Rožmarinov ekstrakt ščiti tokoferole med cvrtjem.
- Zaščitni učinek antioksidantov se prenaša z olj na ocvrto živilo, saj se zmanjša količina nastalega malonaldehida in akrilamida ter izboljša senzorična kakovost ocvrtega krompirčka. Hipotezo smo potrdili.
- Eden od mehanizmov nastanka akrilamida je tudi oksidacija maščob, saj akrilamid narašča s časom cvrtja, prav tako na nastanek akrilamida vpliva dodatek antioksidantov. Hipotezo smo potrdili.
- Določanje deleža polarnih spojin, ki zajema vse razgradne produkte olj, zagotavlja zanesljivo in enostavno merjenje stabilnosti olja s pomočjo dielektrične konstante. Delež polarnih spojin v oljih je v korelaciji z ostalimi parametri kakovosti olj in ocvrtega krompirčka. Hipotezo smo potrdili.

- Proste maščobne kisline in drugi parametri razgradnje olja niso zanesljiv dejavnik določanja stopnje razgradnje olja, saj je njihova vsebnost prenizka. Prav tako proste maščobne kisline ne dosežejo meje 2 %, ko delež polarnih spojin naraste na 25 %.
- Polarne spojine so v korelaciji z večino parametrov, vendar so njihove vsebnosti pri 25 % polarnih spojin tako različne, da nobena metoda ni primerna kot nadomestek za določanje stopnje razgradnje olja. Prav tako 25 % delež polarnih spojin ni vedno primerna mejna vsebnost za zavrženje olja, saj določene senzorične lastnosti ocvrtega krompirčka niso več ustrezne, tudi vsebnost akrilamida je presežena. Hipoteze nismo potrdili.
- Za zagotavljanje kakovosti olja in ocvrtega živila med cvrtjem, ni dovolj le spremljanje deleža polarnih spojin v olju, ker nekateri parametri takrat niso več sprejemljivi. Zato je potrebno za vsak primer postopka cvrtja posebej ugotoviti, pri kateri vsebnosti polarnih spojin je ocvrto živilo tudi senzorično ustrezno, in pri kateri vsebnosti polarnih spojin je ustrezna tudi vsebnost akrilamida.
- Na vse parametre olj in ocvrtega krompirčka vplivajo vrsta olja, število cvrtij in dodatek antioksidantov.
- Na nastanek konjugiranih dienov vpliva začetna količina linolne kisline v olju, na nastanek konjugiranih trienov pa začetna vsebnost linolenske kisline v olju.
- Zaradi dodatka antioksidantov olja lahko večkrat cvremo, kar pomeni, da porabimo manj olja.

## 6 POVZETEK

V življenju je človek izpostavljen mnogim zdravju škodljivim spojinam iz različnih virov. Medtem, ko so določeni viri izpostavljenosti indirektni, pa s hrano te spojine neposredno zaužijemo. Ocvrta živila so kljub izpostavljenemu zdravstvenemu tveganju še vedno najbolj popularna in najbolj množično uživana zaradi dobrega okusa in enostavne ter hitre priprave. Med cvrtjem v oljih nastaja mnogo škodljivih spojin, ki se preko vpijanja v živilo, posredno prenesejo tudi v človeka.

Večino olj za uporabo za cvrtje proizvajalci zaščitijo z antioksidanti. Zaradi potencialne toksičnosti sintetičnih antioksidantov in vedno večje ozaveščenosti potrošnikov, ki zahtevajo živila naravnega izvora, je v živilski industriji trend zamenjave sintetičnih antioksidantov z naravnimi. Izbira naravnih antioksidantov za uporabo v oljih je omejena zaradi njihove topnosti (večina je vodotopnih) in slabše senzorične sprejemljivosti. Prav tako moramo biti pozorni na dobavljivost antioksidanta in ceno, ki mora biti v sorazmerju z zaščito olja.

Namen naše naloge je bil ugotoviti vpliv dodatka različnih sintetičnih in naravnih antioksidantov na preprečevanje oziroma zaviranje razgradnih procesov v repičnem, sončničnem in sojinem olju med cvrtjem, ter zaviranje nastanka sekundarnih oksidacijskih produktov, akrilamida in izboljšanje senzoričnih lastnosti v ocvrtem krompirčku. Prav tako smo želeli ugotoviti, če je 25 % delež polarnih spojin v olju primerna meja za zavrženje olja, glede na ostale analizne parametre olja in ocvrtega krompirčka.

Koristi za zdravje, ki se pripisujejo nenasičenim maščobnim kislinam, kot sta linolna in linolenska kislina, povzročajo povečano uživanje polinenasičenih olj. Vseeno pa je zelo pomembno, da so te maščobne kisline ustrezno zaščitene med predelavo živil. To je še posebej pomembno pri cvrtju v obratih javne prehrane, kjer se olje večkrat uporablja, cvre se veliko živil, kontrola cvrtja pa je minimalna.

Izvedba realnega protokola cvrtja za podrobno proučitev učinkov različnih antioksidantov na učinkovitost med cvrtjem bi bila neekonomična, tako glede materiala in časa. Da bi olje in krompirček v najkrajšem času najboj obremenili, smo uporabili šaržni postopek cvrtja z vmesnih hlajenjem in kot cvrto živilo zamrznjen predcvrt krompirček, vse to so dejavniki, ki pospešijo ragradnjo olja in ocvrtega krompirčka. Vsa cvrtja smo opravili pod enakimi pogoji, tako da smo izločili vpliv cvrtnika, temperature in živila na spremembe olj med cvrtjem.

Trem najpogosteje uporabljanih vrstam olj za cvrtje (repično, sončnično, sojino) smo dodali antioksidante (BHA, TBHQ, tokoferole, rožmarinov ekstrakt, rožmarinov ekstrakt s tokoferoli in rožmarinov ekstrakt s CITREM-om) in v njih cvrli zamrznjen predcvrt krompirček, dokler delež polarnih spojin v najboljših vzorcih ni dosegel vrednosti 25 %. V oljih smo določali spremembe v deležu polarnih spojin, deležu prostih maščobnih kislin, vsebnosti konjugiranih dienov in trienov ter spremembo barve. V vzorcih ocvrtega krompirčka smo merili vsebnost nastalega sekundarnega oksidacijskega produkta malonaldehida in jih senzorično ovrednotili. Dodatno smo še v



krompirčku ocvrtem v sončničnem olju analizirali vsebnost akrilamida, ki je opredeljen kot kancerogen. Za primerjavo smo kot kontrolo uporabili olje brez dodatka antioksidantov.

Vrstni red delovanja antioksidantov v naraščajočem vrstnem redu je naslednji: kontrola < BHA < TBHQ < tokoferoli < rožmarinov ekstrakt < rožmarinov ekstrakt s tokoferoli < rožmarinov ekstrakt s CITREM-om. Rezultati raziskav so pokazali, da imajo oljetopni ekstrakti rožmarina zelo dobro antioksidativno aktivnost in predstavljajo alternativo sintetičnih antioksidantom, kot so BHA in TBHQ in naravnim antioksidantom tokoferolom. Glavni aktivni spojini v rožmarinovem ekstraktu, ki sta odgovorni za antioksidativno aktivnost, sta karnozolna kislina in karnozol.

Z vidika deleža polarnih spojin, deleža prostih maščobnih kislin, vsebnosti konjugiranih dienov in trienov ter razvoja barve v oljih in vsebnosti malonaldehida in akrilamida v ocvrtem krompirčku, naši podatki razkrivajo, da so v oljih z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov nižje vsebnosti teh spojin (razen za višjo, izboljšano L\* vrednost) v primerjavi s kontrolnim oljem in oljem z dodatkom sintetičnih antioksidantov in tokoferolov. Rožmarinov ekstrakt (z 49 mg/kg vsote karnozolne kisline in karnozola, kot aktivnih učinkovin) je pokazal izjemen antioksidativni učinek pri dosti nižji koncentraciji aktivnih učinkovin v primerjavi s sintetičnimi antioksidanti BHA in TBHQ (200 mg/kg aktivnih učinkovin) in tokoferoli (900 mg/kg aktivnih učinkovin). Višja toplotna stabilnost olj z dodatkom rožmarinovitih ekstraktov kaže dodatno prednost pri visokih procesnih temperaturah, v nasprotju z učinki vidnimi pri sintetičnih antioksidantih. Prav tako rožmarinov ekstrakt sinergistično deluje s tokoferoli, še bolj pa v kombinaciji s CITREM-om.

Rezultati naše raziskave so pokazali, da je dodatek antioksidantov olju za cvrtje učinkovita metoda za zaviranje nastanka akrilamida v krompirčku med cvrtjem, kar nudi cenovno učinkovito alternativo vakuumskega cvrtja in drugim metodam, predlaganim za zmanjšanje količine akrilamida v ocvrtih živilih.

Korelacijska analiza je pokazala, da so vsi parametri olja in ocvrtega krompirčka v tesni povezavi s časom cvrtja, prav tako smo ugotovili tesne povezave med posameznimi parametri. Prišli smo do zaključka, da je najustreznejša metoda za spremljanje razgradnje olja merjenje deleža polarnih spojin, saj zajame vse razgradne produkte olja, za razliko od ostalih metod, vendar je potrebno v fazi razvoja posameznega postopka cvrtja spremljati tudi senzorično kakovost in vsebnost akrilamida v ocvrtem krompirčku, in določiti pri katerem deležu polarnih spojin so vzorci živila še ustrezni za uživanje. Pri 25 % meji deleža polarnih spojin v olju nekatere senzorične ocene ocvrtega krompirčka v naši raziskavi niso več sprejemljive, tudi vsebnost akrilamida je presežena.

Dobljeni rezultati pomenijo originalen in pomemben prispevek k spremljanju termooksidacijskih sprememb olj in cvrtih živil med cvrtjem. Za živilsko industrijo in restavracije bi rezultati raziskave nedvomno pomenili velik korak v spremljanju kakovosti olj in cvrtih živil med cvrtjem, saj bi s tem vplivali na bolj kakovostne in s prehranskega stališča bolj zdrave izdelke.

Z vse večjo proizvodnjo ocvrtih živil je povezana tudi poraba vedno večjih količin olj za cvrtje in s tem naraščanje količine odpadnih olj. Živilska industrija, ki je največji porabnik olj za cvrtje, ter gostinski objekti in velike kuhinje zbirajo odpadna olja, ki jih pooblaščen predstavniki odvažajo. Odpadna olja sodijo med rabljene, vendar ne izrabljene snovi. Njihove lastnosti omogočajo, da se lahko ponovno uporabijo. Zbiranje olj pa je pomembno tudi z ekološkega vidika, saj se z zbiranjem preprečuje direktno onesnaževanje okolja. Vsa odpadna olja so nevarni odpadki, zato je zelo pomembno, da zberemo čim več odpadnih olj in tako preprečimo onesnaževanje okolja. Odpadna olja v okolju vplivajo predvsem na kakovost pitne vode in na zrak. Po nekaterih podatkih en liter odpadnega olja lahko onesnaži milijon litrov pitne vode, kar predstavlja dnevno porabo v 4.000 gospodinjstvih v Sloveniji. Zaradi nepravilnega oziroma nepopolnega izgorevanja odpadna olja vplivajo tudi na kakovost zraka. Z dodatkom naravnih antioksidantov iz rožmarina lahko bistveno podaljšamo uporabo olja za cvrtje in bistveno zmanjšamo količino odpadnih olj.

## 7 SUMMARY

In the lifetime a person is exposed to many harmful substances from different sources. While some sources of exposure are indirect, while consuming food harmful substances means direct ingestion. Although fried foods represent certain health risks, they are still the most popular and most widely consumed foodstuffs, due to their sensory properties and are simple and easy to prepare. Many harmful compounds are produced in oils during frying and they are indirectly transmitted to humans via the absorption of oil present in fried food.

Most of the oils used for frying are protected with antioxidants by manufacturers. Because of potential toxicity of synthetic antioxidants and increasing awareness of consumers' requiring foods of natural origin, the food industry tends to replace synthetic antioxidants with natural ones. Choice of natural antioxidants for use in oils is limited due to their poor solubility (most of antioxidants are water soluble) and poor sensory acceptability. We must also be aware of the availability of the antioxidant and the price that must be commensurate with the protection factor of oil.

The aim of our study was to determine the impact of various synthetic and natural antioxidants to prevent or inhibit the degradation processes in rapeseed, sunflower and soybean oil during frying, and inhibition of formation of secondary oxidation products, and acrylamide in French fries and to improve the sensory properties of French fries. Also, we wanted to determine if the content of polar compounds at 25 % in the oil is a suitable limit for oil disposal, considering other parameters of oil and French fries analysis.

The health benefits attributable to the unsaturated fatty acids, such as linoleic and linolenic acid, lead to increased consumption of polyunsaturated oils. However, it is very important that these fatty acids are suitably protected during processing. This is especially important when frying food in catering establishments, where the oil is often used to fry food on large scale and control of frying process is minimal.

Implementation of the real protocol of frying for a detailed examination of the effects of various antioxidants on the effectiveness of the frying would be uneconomical, both in terms of material and time. To burden the oils and French fries as much as possible, we used batch frying process with intermediate cooling and frying of frozen food such as pre-fried French fries, these are all factors that accelerate degradation of oil and French fries. All fryings were carried out under the same conditions, so we excluded the impact of fryer, temperature and the food on oil degradation during frying.

To the three most commonly used types of frying oils (rapeseed, sunflower, soybean) antioxidants were added (BHA, TBHQ, tocopherols, rosemary extract, rosemary extract with tocopherols and rosemary extract with CITREM) and then fried French fries until the level of total polar compounds in the best performing oil samples reached a value of 25 %. The oils were then analysed for the level of total polar compounds, free fatty acids, conjugated dienes and trienes, and color change. In samples of French fries the

quantity of malonaldehyde was analysed and all samples were sensory evaluated. Additionally, the French fries fried in sunflower oil were analyzed for the content of acrylamide, which is classified as a possible carcinogen. For comparison, as a control, the oil without the addition of antioxidants was used.

The order of antioxidant activity in ascending order is as follows: control < BHA < TBHQ < tocopherols < rosemary extract < rosemary extract with tocopherols < rosemary extract with CITREM. Studies have shown that oil soluble extracts of rosemary have a very good antioxidant activity and represent an alternative to synthetic antioxidants such as BHA and TBHQ and natural antioxidant tocopherol. The main active ingredients in rosemary extract, which are responsible for the antioxidant activity, are carnosic acid and carnosol.

In terms of the levels of total polar compounds, free fatty acids, conjugated dienes and trienes and the development of color in the oil and the concentration of malonaldehyde and acrylamide in French fries, our results show that in oils with the addition of rosemary extracts, the lower levels of these components were formed (except for a higher, improved L\* value), compared to control oil and oil with the addition of synthetic antioxidants and tocopherols. Rosemary extract (with 49 mg/kg of carnosic acid and carnosol, as the active ingredients) showed a remarkable antioxidant effect at a much lower concentration of active ingredients compared to the synthetic antioxidants BHA and TBHQ (200 mg/kg of active ingredients) and tocopherols (900 mg/kg of active ingredients). The higher thermal stability of the oils with the addition of rosemary extract shows an additional advantage at high process temperatures, in contrast to the effects of synthetic antioxidants. Also, rosemary extract acts synergistically with tocopherols, and even more so in combination with CITREM.

The results of our study prove that the addition of antioxidants in oil for frying is the effective method to suppress the formation of acrylamide in French fries during frying, which provides a cost-effective alternative to vacuum frying and other methods proposed for the reduction of acrylamide in fried foods.

Correlation analysis showed that all parameters of oil and French fries are in close conjunction with frying time, as we have found a close correlation between these parameters. We came to the conclusion that the most appropriate method for monitoring the degradation of oil is measurement of total polar compounds as it encompasses all degradation products of oil, unlike other methods, but in the development stage of the frying procedure it is necessary to accompany the sensory quality and the content of acrylamide in French fries, and determine at which level of polar compounds food samples are still suitable for consumption. At the 25 % limit of the content of polar compounds in the oil, sensory evaluation of French fries in our study is no longer acceptable, the acceptable level of acrylamide is also exceeded.

The obtained results indicate an original and important contribution to the monitoring of thermooxidative changes in oils and French fries during frying. For the food industry and restaurants the discoveries of this thesis are undoubtedly a major step in monitoring the

quality of oils and fried foods during frying, as this would affect the higher quality and from nutritional point of view production of healthier products.

Increasing production of fried foods is linked to the consumption of increasing quantities of oils for frying, thereby increasing the quantity of waste oils. Food industry is the largest consumer of oils for frying, together with catering facilities and large kitchens and they collect waste oils that are regularly removed by authorized representatives. Waste oils are used but still appropriate for further processing. Because of their properties they can be used again. The collection of oil is also important from an ecological point of view, since it prevents the direct environmental pollution. All waste oils are hazardous waste, so it is very important to collect as much waste oil in order to prevent environmental pollution. Waste oils in the environment influence the quality of drinking water and air. According to some data, one liter of used oil can contaminate one million liters of drinking water, which represents a daily consumption of 4,000 households in Slovenia. Due to incorrect or incomplete combustion waste oils also affect air quality. With the addition of natural antioxidants from rosemary the use of frying oils can be significantly prolonged and consequently significantly reduce the amount of waste oils.

## 8 VIRI

- Ali M., Ullah I., Ahmad S., Khan H., Akbar H. 2009. Effect of commercial kebab frying on physico-chemical parameters of the tallow. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8, 6: 891-895
- Al-Kathani H.A. 1991. Survey of quality of used frying oils from restaurants. *Journal of the Americal Oil Chemists' Society*, 68, 11: 857-862
- Almedia-Doria R.F., Regitano-D'Arce M.A.B. 2000. Antioxidant activity of rosemary and oregano ethanol extracts in soybean oil under thermal oxidation. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20, 2: 197-203
- Banks D. 1996. Introduction. V: *Deep frying: chemistry, nutrition, and practical applications*. Perkins E. G., Erickson M.D. (eds.). Champaign, AOCS Press: 1-3
- Bansal G., Zhou W., Barlow P.J., Joshi P. S., Ling Lo H., Kow Chung Y. 2010a. Review of rapid tests available for measuring the quality changes in frying oils and comparison with standard methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50: 503-514
- Bansal G., Zhou W., Barlow P.J., Joshi P., Leng Neo F., Ling Lo H. 2010b. Evaluation of commercially available rapid test kits for the determination of oil quality in deep-frying operations. *Food Chemistry*, 121: 621-626
- Bastida S., Sánchez-Muniz F.J. 2002. Polar content versus TAG oilgomer content in the frying-life assessment of monounsaturated and polyunsaturated oils used in deep-frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79: 447-451
- Becalski A., Lau B.P., Lewis D., Seaman S.W. 2003. Acrylamide in foods: occurrence, sources and modelling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3: 802-808
- Belbin A.A. 1999. Use of colorimetry. V: *Spectral properties of lipids*. Hamilton R. J., Cast J. (eds.). Sheffield, Sheffield Academic Press: 368-388
- Berglez T. 2002. Določanje aktivnih učinkovin v rožmarinu. Magistrsko delo. Ljubljana, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo: 130 str.
- Bethke P.C., Bussan A.J. 2013. Acrylamide in processed potato products. *American Journal of Potato Research*, 90: 403-424
- Bheemreddy R.M., Chinnan M.S., Pannu K.S., Reynolds A.E. 2002. Active treatment of frying oil for enhanced fry-life. *Food Engineering and Physical Properties*, 67, 4: 1478-1484
- Blumenthal M.M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. *Food Technology*, 2: 68-71

- Blumenthal M.M., Stier R.F. 1991. Optimisation of deep fat frying operations. A review. *Trends in Food Science and Technology*, 2: 144-148
- Boakye K., Mittal G.S. 1996. Changes in colour of beef *m. longissimus dorsi* muscle during ageing. *Meat Science*, 42, 3: 347-354
- Boskou D. 2011. Nonnutrient antioxidants and stability of frying oils. V: *Frying of food; oxidation, nutrient and non-nutrient antioxidants, biologically active compounds and high temperatures*. 2<sup>nd</sup> ed. Boskou D., Elmadfa I. (eds). Portland, CRC Press: 199-223
- Boyer M.J. 2007. Environmental concerns. V: *Deep frying: chemistry, nutrition, and practical applications*. Erickson M.D. (ed.). Urbana, AOCS Press: 387-395
- Brewer M.S. 2011. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action and potential applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10: 221-247
- Bučar F., Žlender B., Đorđević V. 1989. Tehnologija mesa (izbrana poglavja). Interno gradivo za študente živilske tehnologije in živinoreje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilsko tehnologijo: 228 str.
- Calvo L., Cocero M.J., Diez J.M. 1994. Oxidative stability of sunflower oil extracted with supercritical carbon dioxide. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71: 1251-1254
- Carocho M., Ferreira I.C.F.R. 2013. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51: 15-25
- Casarotti S. N., Jorge N. 2014. Antioxidant activity of rosemary extract in soybean oil under thermoxidation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 1: 136-145
- Charles D.J. 2013. Rosemary. V: *Antioxidant properties of spices, herbs and other sources*. Charles D.J. (ed.). New York, Springer Science: 495-507
- Che Man Y., Tan T.P. 1999. Effects of natural and sythetic antioxidants on changes in refined, bleached, and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 3: 331-339
- Che Man Y., Jaswir I. 2000. Effects of rosemary and sage extracts on frying performace of refined, bleached, and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 69: 301-307
- Chipault J.R., Mizuno R.G., Hawkins J.M., Lundberg W.O. 1952. The antioxidant properties of natural spices. *Food Research*, 17: 46-55

- Choe E., Min D.B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*, 72, 5: 77-86
- Claus A., Carle R., Schieber A. 2008. Acrylamide in cereal products: a review. *Journal of Cereal Science*, 47: 118-133
- Cordeiro A.M.T.M, Medeiros M.L., Santos N.A., Soledade L.E.B., Pontes L.F.B.L., Souza A.L., Queiroz N., Souza A.G. 2013. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract: thermal study and evaluation of the antioxidant effect on vegetable oils. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 113: 889-895
- Cuppett S., Hall III C. 1998. Antioxidant activity of *Labiatae*. *Advances in Food and Nutrition Research*, 42: 245-271
- Del Baño M.J., Lorente J., Castillo J., Benavente-García O., del Río J.A., Ortuño A., Quirin K.W., Gerard D. 2003. Phenolic diterpenes, flavones, and rosmarinic acid distribution during development of leaves, flowers, stems, and roots of *Rosmarinus officinalis*: antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 4247-4253
- Delgado-Andrade C., Seiquer I., Haro A., Castellano R., Navarro M.P. 2010. Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds. *Food Chemistry*, 122: 145-153
- Dijkstra A.J., Christie W.W., Knothe G. 2007. Analysis. V: The lipid handbook. 3<sup>rd</sup> ed. Gunstone F.D., Harwood J.L., Dijkstra A.J. (eds.). Boca Raton, CRC Press: 415-469
- DIN 5033. Colorimetry, Standard colorimetric systems. 1992: 5 str.
- Dobarganes C., Márquez-Ruiz G., Velasco J. 2000. Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102: 521-528
- Dobarganes M.C., Marquez-Ruiz G. 2007. Formation and analysis of oxidized monomeric, dimeric and higher oligomeric triglycerides. V: Deep frying: chemistry, nutrition, and practical applications. 2<sup>nd</sup> ed. Erickson M.D. (ed.). Champaign, AOCS Press: 87-110
- Drummond L. 2005. Deep-frying in New Zealand – A review and technology update. Auckland, The National Heart Foundation of New Zealand: 42 str.
- Ellis M. 2013. Study: spearmint and rosemary extracts improve memory. *Medical News Today*. 1 str.  
[www.medicalnewstoday.com/articles/268884](http://www.medicalnewstoday.com/articles/268884)> (november 2013)
- El-Sayed F.E., Allam S.S. 2003. Thermooxidative and hydrolytic changes in oils used for frying of frozen prefried foods. *Journal of Food Lipids*, 10: 285-300



- Enig M.G. 2000. Know your fats: The many sources of fats and oils. Silver Spring, Bethesda Press: 113-144
- Erickson D.R. 2007. Production and composition of frying fats. V: Deep frying: chemistry, nutrition, and practical applications. 2<sup>nd</sup> ed. Erickson M.D. (ed.). Champaign, AOCS Press: 3-24
- Evropska komisija. 2011. Priporočilo komisije z dne 10.1.2011 o raziskavi ravnih akrilamida v živilih. Bruselj, Evropska komisija: 6 str.  
[http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/recommendation\\_100120\\_11\\_acrylamide\\_food\\_sl.pdf](http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/recommendation_100120_11_acrylamide_food_sl.pdf)
- Facino R.M., Carini M., Aldini G., Calloni M.T., Bombardelli E., Morazzoni P. 1998. Sparing effect of procyanidins from vitis vinifera on vitamin E: *in vitro* studies. *Planta Medica*, 64: 343–347
- Farhoosh R., Tavassoli-Kafrani M.H. 2010. Polar compounds distribution of sunflower oil as affected by unsaponifiable matters of Bene hull oil (BHO) and tertiary-butylhydroquinone (TBHQ) during deep-frying. *Food Chemistry*, 122: 381-385
- Filip S., Hribar J., Vidrih R. 2011. Influence of natural antioxidants on the formation of *trans*-fatty-acid isomers during heat treatment of sunflower oil. *European Journal of Lipid Science Technology*, 113: 224-230
- Frankel E.N. 2005. Frying fats. V: Lipid oxidation. Frankel E.N. (ed.). Dundee, The Oily Press: 470 str.
- Friedman M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 4504-4526
- Fritsch C.W. 1981. Measurements of frying fat deterioration: a brief review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58: 272-274
- Galliard T. 1973. Lipids of potato tubers; lipid and fatty acid composition of tubers from different varieties of potato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24: 617-622
- Gea. 2011a. Analizni certifikat repično olje. Slovenska Bistrica, Gea: 1 str.
- Gea. 2011b. Analizni certifikat sončnično olje. Slovenska Bistrica, Gea: 1 str.
- Gea. 2011c. Analizni certifikat sojino olje. Slovenska Bistrica, Gea: 1 str.
- Gertz C. 2000. Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102: 566-572

- Gertz C., Klostermann S. 2002. Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104: 762–771
- Gertz C., Matthäus B. 2008. Optimum deep-frying. Recommendations by the German Society for Fat Science. Frankfurt/Main, DGF - Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft e.V.: 22 str.
- Gordon M.H., Kourimska L. 1995. Effect of antioxidants on losses of tocopherols during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 52: 175-177
- Granda C., Moreira R.G. 2005. Kinetics of acrylamide formation during traditional and vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering*, 28: 478-493
- Grompone M.A. 2011. Sunflower oil. V: *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. 2<sup>nd</sup> ed. Gunstone F.D. (ed.). West Sussex, Blackwell Publishing: 137-168
- Gunstone F.D. 2011. Production and trade of vegetable oils. V: *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. 2<sup>nd</sup> ed. Gunstone F.D. (ed.). West Sussex, Blackwell Publishing: 1-24
- Gupta M.K. 2005. Frying oils. V: *Bailey's industrial oil and fat products*. 6<sup>th</sup> ed. Vol. 4. Shahidi F. (ed.). Boca Raton, CRC Press: 1-31
- Hlastan Ribič C. 2009. Uvod v prehrano (Učbenik za študente medicine in stomatologije), Ljubljana, Medicinska fakulteta: 67 str.
- Houhoula D.P., Oreopoulou V. 2004. Predictive study for the extent of deterioration of potato chips during storage. *Journal of Food Engineering*, 65: 427-432
- Houhoula D.P., Oreopoulou V. Tzia C. 2002. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79, 2: 133-137
- Huang J., Liu Y., Jin Q., Wu X., Wang X., Song Z. 2012. Enzyme-catalyzed synthesis of monoacylglycerols citrate: kinetics and thermodynamics. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89, 9: 1627-1632
- ISO 3656. Animal and vegetable fats and oils – Determination of ultraviolet absorbance. International standard. 2<sup>nd</sup> ed. 1989: 4 str.
- Keijbets M.J.H. 2001. The manufacture of pre-fried potato products. V: *Frying – improving quality*. Rossell J.B. (ed.). Cambridge, Woodhead Publishing: 197-214

- Lalas S., Dourtoglou V. 2003. Use of rosemary extract in preventing oxidation during deep-fat frying of potato chips. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80, 6: 579-583
- Lalas S., Gortzi O., Tsaknis J. 2006. Frying stability of *Moringa Stenopetala* seed oil. *Plant Foods for Human Nutrition*, 61: 99-108
- LoPachin R. M., Barber D. S. and Gavin T. 2008. Molecular mechanisms of the conjugated  $\alpha$ ,  $\beta$ -unsaturated carbonyl derivatives: Relevance to neurotoxicity and neurodegenerative diseases. *Toxicological Sciences*, 104: 235–249
- Manral M., Pandey M.C., Jayathilakan K., Radhakrishna K., Bawa A.S. 2008. Effect of fish (*Catla catla*) frying on the quality characteristics of sunflower oil. *Food Chemistry*, 106: 634-639
- Marmesat S., Morales A., Velasco J., Dobarganes M. C. 2010. Action and fate of natural and synthetic antioxidants during frying. *Grasas y Aceites*, 61, 4: 333-340
- Maskan M. 2003. Change in colour and rheological behaviour of sunflower seed oil during frying and after adsorbent treatment of used oil. *European Food Research and Technology*, 218: 20-25
- Masuda T., Inaba Y., Maekawa T., Takeda Y., Tamura H., Yamaguchi H. 2002. Recovery mechanism of the antioxidant activity from carnosic acid quinone, an oxidized sage and rosemary antioxidant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 5863-5869
- Masuda T., Inaba Y., Takeda Y. 2001. Antioxidant mechanism of carnosic acid: structural identification of two oxidation products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 5560-5565
- Matthaus B. 2006. Utilization of high-oleic rapeseed oil for deep-fat frying of French fries compared to other commonly used edible oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108: 200-211
- Matthaus B. 2009. Acrylamide formation during frying. V: *Advances in deep-fat frying of foods*. Sahin S., Summu S.G. (eds.), Boca Raton, CRC Press: 143–168
- McDonald B.E., Eskin M.N.A. 2007. Role of fat in the diet. V: *Deep frying: chemistry, nutrition, and practical applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Erickson M.D. (ed.). Champaign, AOCS Press: 167-171
- Melton S.L., Jafar S., Sykes D., Trigiano M.K. 1994. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71: 1301-1308

- Mestdagh F., Lachat C., Baert K., Moons E., Kolsteren P., Van Peteghem C., De Meulenaer B. 2007. Importance of a canteen lunch on the dietary intake of acrylamide. *Molecular Nutrition and Food Research*, 51, 5: 509-516
- Moore V.J. 1988. Effect of packaging and display variables on retail display of frozen lamb chops. *Meat Science*, 22, 4: 313-320
- Mostaghim T., Ezzatpanah H., Boojar M.M., Givianrd H., Hosseini E., Azizinejad R. 2013. The effect of various deep frying methods on malonaldehyde content of potato chips. *Annals of Biological Research*, 4, 4: 46-52
- Mucci L.A., Wilson K.M. 2008. Acrylamide intake through diet and human cancer risk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 6013-6019
- Niki E. 2009. Lipid peroxidation: Physiological levels and dual biological effects. *Free Radical Biology and Medicine*, 47: 469-484
- Nilsson C., Edwards K., Eriksson J., Larsen S.W., Østergaard J., Larsen C., Urtti A., Yagmur A. 2012. Characterization of oil-free and oil-loaded liquid-crystalline particles stabilized by negatively charged stabilizer citrem. *Langmuir*, 28: 11755-11766
- Nogala-Kalucka M., Korczak J., Dratwia M., Lampart-Szczapa E., Siger A., Buchowski M. 2005. Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. *Food Chemistry*, 93: 227-235
- Offord E.A., Guillot F., Aeschbach R., Löliger J., Pfeifer A.M.A. 1997. Antioxidant and biological properties of rosemary components: implications for food and health. V: *Natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications*. Shahidi F. (ed.). Champaign, AOCS Press: 88-96
- Orthofer F.T., List G.R. 2007. Dynamics of frying. V: *Deep frying: chemistry, nutrition, and practical applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Erickson M.D. (ed.). Champaign, AOCS Press: 253-275
- Paul S., Mittal G.S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37: 635-662
- Pedreschi F., Zuñiga R.N. 2009. Acrylamide and oil reduction in fried potatoes: a review. *Food*, 3, 2: 82-92
- Peled M., Gutfinger T., Letan A. 1975. Effect of water and BHT on stability of cottonseed oil during frying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26: 1655-1666

- Peng L., Farkas T., Loo L., Dixon A., Teuscher A., Kallury K. 2003. Rapid and reproducible extraction of acrylamide in french fries using as single SPE sorbent - strata-XC-C. Technical Notes TN-007. Torrance, Phenomenox, Inc.: 2 str.
- Pokorný J., Réblová Z. 1999. Effect of food components on changes in frying oil. *Food Technology and Biotechnology*, 37, 2: 139-143
- Pokorný J. 1989. Flavor chemistry of deep fat frying in oil. V: *Flavor chemistry of lipid foods*. Min D.B., Smouse T.H. (eds.). Champaign, The American Oil Chemists' Society: 113-155
- Pokorný J. 2003. Natural antioxidant functionality during food processing. V: *Antioxidants in food: Practical applications*. Pokorný J., Yanishlieva N., Gordon M. (eds.). Cambridge, CRC Press: 331-354
- Pokorný J. 2007. Are natural antioxidants better – and safer – than synthetic antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109: 629-642
- Porter W.L. 1980. Recent trends in food applications of antioxidants. V: *Autoxidation in food and biological systems*. Simic M.G., Karel M. (eds.). New York, Plenum Press: 295-365
- Pravilnik o kakovosti jedilnih rastlinskih olj, jedilnih rastlinskih masteh in majonezi. 2003. Uradni list Republike Slovenije, 13, 122: 16814-16819
- Przybylski R. 2011. Canola/rapeseed oil. V: *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses*. 2<sup>nd</sup> ed. Gunstone F.D. (ed.). West Sussex, Blackwell Publishing: 107-136
- Rac M., Oštrič-Matijašević B. 1955. The properties of rosemary as an antioxidant. *Revue Francaise des Corps Gras*, 2: 796-803
- Ramalho V.C., Jorge N. 2008. Antioxidants action of rosemary extract in soybean oil submitted to thermoxidation. *Grasas y Acetias*, 59, 2: 128-131
- Réblová Z., Kudrnová B., Trojáková L., Pokorný J. 1999. Effect of rosemary extracts on the stabilization of frying oil during deep fat frying. *Journal of Food Lipids*, 6: 13-23
- Reda S.Y. 2011. Evaluation of antioxidants stability by thermal analysis and its protective effect in heated edible vegetable oil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31, 2: 475-480
- Reische D.W., Lillard D.A., Eitenmiller R.R. 2002. Antioxidants. V: *Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology*. 2<sup>nd</sup> ed. Akoh C.C., Min D.B. (eds.). New York, Marcel Dekker, 507-534

- Richheimer S.L., Bailey D.T., Bernart M.W., Kent M., Vininski J., Andreson L.D. 1999. Antioxidant activity and oxidative degradation of phenolic compounds isolated from rosemary. *Recent Research Developments in Oil Chemistry*, 3: 45-58
- Rižner Hraš A. 2000. Izolacija aktivnih učinkovin rožmarina. Doktorska disertacija. Maribor, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo: 102 str.
- Rižner Hraš A., Hadolin M., Knez Ž., Bauman D. 2000. Comparison of antioxidative and synergistic effects of rosemary extract with  $\alpha$ -tocopherol, ascorbyl palmitate and citric acid in sunflower oil. *Food Chemistry*, 71: 229-233
- Rossell J.B. 2001. Introduction. V: *Frying – improving quality*. Rossell J.B. (ed.). Cambridge, Woodhead Publishing: 1-3
- Saguy I.S., Dana D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56: 143-152
- Sánchez-Muniz F.J., Bastida S. 2006. Effect of frying and thermal oxidation on olive oil and food quality. V: *Olive oil and health*. Quiles J.L., Ramirez-Tortosa M.C., Yaqoob P. (eds.). Oxfordshire, CABI Publishing: 74-102
- Sánchez-Muniz F.J., Cuesta C., Garrido-Polonio M.C. 1994. Evaluation of sunflower oil used for frying by different analytical indexes and column and gas chromatography. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft*, 33: 16-23
- Sandusky C. L., Heath J. L. 1998. Sensory and instrument-measured ground chicken meat colour. *Poultry Science*, 77: 481–486
- Sanli H., Canakci M., Alptekin E. 2013. Predicting the higher heating values of waste frying oils as potential biodiesel feedstock. *Fuel*, 115: 850-854
- SAS/STAT user's guide*. 1990. 4<sup>th</sup> ed. Cary, SAS Institute Inc.: 891-1230
- Sebedio J.L., Bonpunt A., Grandgirard A., Prevost J. 1990. Deep fat frying of frozen prefried French fries: Influence of the amount of linolenic acid in the frying medium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38: 1862-1967
- Schwarz K. 2002. Phenolic diterpenes from rosemary and sage. V: *Functional foods: biochemical and processing aspects*. Vol. 2. Shi J., Mazza G., Le Maguer M. (eds.). Boca Raton, CRC Press: 189-212
- Shahidi F. 1997. Natural antioxidants: An overview. V: *Natural antioxidants; chemistry, health effects, and applications*. Shahidi F. (ed.). Champaign, AOCS Press: 1-11
- Shahidi F., Wanasundara U. N. 2002. Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils. V: *Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology*. 2<sup>nd</sup> ed. Akoh C.C., Min D.B. (eds.). New York, Marcel Dekker: 483-505

- Shahidi F., Zhong Y. 2005. Antioxidants: Regulatory status. V: Bailey's industrial oil and fat products. 6<sup>th</sup> ed. Vol. 1. Shahidi F. (ed.). Boca Raton, CRC Press: 491-512
- Shan B., Cai Y.Z., Sun M., Corke H. 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 7749-7759
- Smith E.A., Prues S.L., Oehme F.W. 1997. Environmental degradation of polyacrilamides. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 37: 76-91
- Sotlar L. 1996. Barva kot faktor pri zaznavi štirih osnovnih okusov. *Diplomska naloga*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 58 str.
- Sørensen A.D., Haar A.M., Becker E.M., Skibsted L.H., Bergenståhl B., Nilsson L., Jacobsen C. 2008. Interactions between iron, phenolic compounds, emulsifiers, and pH in omega-3-enriched oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5: 1740-1750
- Stevenson S.G., Jeffery L., Vaisey-Genser M, Fyfe B., Hougén F.W., Eskin N.A.M. 1984. Performance of canola and soybean fats in extended frying. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 17: 187-194
- Stier R.F. 2001. The measurement of frying oil quality and authenticity. V: *Frying – improving quality*. Rossell J.B. (ed.). Cambridge, Woodhead Publishing: 165-193
- Stier R.F. 2004. Frying as a science – an introduction. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106: 715-721
- Taeymans, D., Wood, J., Ashby, P., Blank, I., Studer, A., Stadler, R. H., Gondé P., Van Eijck P., Lalljie S., Lingnert H., Lindblom M., Matissek R., Müller D., Tallmadge D., O'Brien J., Thompson S., Silvani D., Whitmore, T. 2004. A review of acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44: 323-347
- Takeoka G.R., Full G.H., Dao L.T. 1997. Effect of heating on the characteristics and chemical composition of selected frying oils and fats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 3244-3249
- Tarladgis B.G., Watts B.M., Younathan M.T. 1960. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 37, 1: 44-48
- Testo 270 – Tester olja za cvrtje. 2011. Dobrova, Komplast d.o.o.: 30 str. (navodila za uporabo)
- Tyagi V.K., Vasishta A.K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73, 4: 499-506

- Uredba komisije (EU) št. 1129/2011 z dne 11. novembra 2011 o spremembi Priloge II k Uredbi (ES) št. 1333/2008 Evropskega parlamenta in Sveta z vzpostavitvijo seznama Unije aditivov za živila. 2011. Uradni list Evropske unije, 54, L295: 1-177
- Verleyen T., Kamal-Eldin A., Mozuraityte R., Verhe R., Dewettcnck K., Huyghebaert A. and Greyt W.D. 2002. Oxidation at elevated temperatures: competition between  $\alpha$ -tocopherol and unsaturated triacylglycerols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104: 228-233
- Vidmar L., Oštrič-Matijašević B. 1992. Termooksidativne spremembe olja med cvrenjem. V: *Lipidi. 14. Bitenčevi živilski dnevi '92*, Ljubljana, 4.-5. jun. 1992. Klofutar C., Žlender B., Hribar J., Plestenjak A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 46-54
- Vijayan J., Slaughter D.C., Singh R.P. 1996. Optical properties of corn oil during drying. *International Journal of Food Science*, 31: 353-358
- Vitiva. 2013a. Specifikacija ekstrakta INOLENS 4 (301779). Markovci, Vitiva: 2 str.
- Vitiva. 2013b. Specifikacija ekstrakta SyneROX 4 (302002). Markovci, Vitiva: 2 str.
- Vitiva. 2013c. Specifikacija ekstrakta SyneROX HT (302144). Markovci, Vitiva: 2 str.
- Wai T. N. 2007. Locally repetedly-used deep frying oils are generally safe. *International e-Journal of Science, Medicine & Education*, 2: 2-7
- Wang T. 2011. Soybean oil. V: *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses*. 2<sup>nd</sup> ed. Gunstone F.D. (ed.). West Sussex, Blackwell Publishing: 59-106
- Warner K. 2002. Chemistry of frying oils. V: *Food lipids: Chemistry, nutrition and biotechnology*. 2<sup>nd</sup> edition. Akoh C.C., Min D.B. (eds.). New York, Marcel Dekker: 223-239
- Warner K. 2004. Chemical and physical reactions in oil during frying. V: *Frying technology and practices*. Gupta M.K., Warner K., White P.J. (eds.). Champaign, AOCS Press: 77-90
- Wegmüller F. 1994. Polar components of frying fats derived from data of dielectric measurements. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 199: 51-54
- Wegmüller F. 1998. Die Qualität von Fritierölen dielektrisch erfassen. *Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene*, 889: 301-307
- Weishaar R. 2004. Acrylamide in heated potato products – analytics and formation routes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106: 786-792



- Weng X.C., Gordon M.H. 1993. Antioxidant synergy between phosphatidyl ethanolamine and alpha-tocopherylquinone. *Food Chemistry*, 48: 165–168
- Wijeratne S.S.K., Cuppett S. 2006. Antioxidant activities of carnosol and carnosic acid in foods and biological model systems-a review. *AgroFOOD Industry Hi-tech*, 17, 6: 7-10
- Xu X., Tran V. H., Palmer M., White K., Salisbury P. 1999. Chemical and physical analyses and sensory evaluation of six deep-frying oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 9: 1091-1099.
- Yanishlieva N.V., Marinova E., Pokorný J. 2006. Natural antioxidants from herbs and spices. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108, 9: 776-793
- Yanishlieva-Maslarova N.V. 2003. Sources of natural antioxidants: vegetables, fruits, herbs, spices and teas. V: *Antioxidants in food: Practical applications*. Pokorný J., Yanishlieva N., Gordon M. (eds.). Cambridge, CRC Press: 210-266
- Yeo J.D., Jeong M.K., Park C.U., Lee J. 2010. Comparing antioxidant effectiveness of natural and synthetic free radical scavengers in thermally-oxidized lard using DPPH method. *Journal of Food Science*, 75: C258-C262
- Zamora R., Hidalgo F.J. 2008. Contribution of lipid oxidation products to acrylamide formation in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 6075-6080
- Zhang Y., Yang L., Zu Y., Chen X., Wang F., Liu F. 2010. Oxidative stability of sunflower oil supplemented with carnosic acid compared with synthetic antioxidants during accelerated storage. *Food Chemistry*, 118: 656-662
- Zhang Y., Smuts J.P., Dodbiba E., Rangarajan R., Lang J.C., Armstrong D.W. 2012. Degradation study of carnosic acid, carnosol, rosmarinic acid and rosemary extract (*Rosmarinus officinalis* L.) assessed using HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 9305-9314
- Žlender B. 1997. Senzorična kakovost perutninskih izdelkov. V: *Strokovni seminar in prezentacija*. Ptuj, 21. marec 1997. Ptuj, Perutnina Ptuj: 10 str.

## ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri strokovnem vodenju, izdelavi in oblikovanju doktorske naloge se iskreno zahvaljujem raziskovalni mentorici dr. Majdi Hadolin Kolar in pedagoškemu mentorju prof. dr. Rajku Vidrihu.

Za statistično obdelavo rezultatov se iskreno zahvaljujem prof. dr. Lei Demšar.

Za natančen in strokoven pregled doktorske naloge se zahvaljujem članicama komisije prof. dr. Tatjani Košmerl in prof. dr. Luciji Zupančič Kralj.

Za pomoč pri pregledu doktorske naloge in literature se zahvaljujem Lini Burkan Makivić.

Poleg tega se zahvaljujem vodstvu podjetja Vitiva d.d. ter Tehnološki agenciji Slovenije, da sem bila pod njihovim finančnim okriljem, kot mlada raziskovalka iz gospodarstva, deležna ustreznih delovnih pogojev za kvalitetno opravljanje svojega raziskovalnega dela. Raziskavo je delno financirala Evropska unija, in sicer iz Evropskega socialnega sklada.

Za pomoč pri praktičnem delu diplomske naloge se zahvaljujem tudi sodelavcem Vitive d.d., še posebej Urški Jurič.

Posebna zahvala velja tudi domačim, še posebej mojima otrokoma Luku in Maji, možu Gregorju in vsem ostalim, ki so me moralno podpirali in vzpodbujali med študijem.

## PRILOGE

### PRILOGA A: Specifikacija ekstrakta INOLENS 4 (301779) (Vitiva, 2013a)



#### PRODUCT SPECIFICATION

#### INOLENS 4 (Product code: 301779)

Vitiva d.d.  
Nova vas 98  
2281 Markovci  
SLOVENIA  
Tel.: + 386 2 7888 733  
Fax: + 386 2 7888 731  
e-mail: [service@vitiva.eu](mailto:service@vitiva.eu)  
[www.vitiva.eu](http://www.vitiva.eu)

#### Description:

*INOLENS 4* is a solution of natural rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extract in vegetable oil.

#### Composition:

vegetable oil, rosemary extract

#### Specification:

Form at room temperature:	viscous liquid
Color:	yellow to amber*
Odor:	slightly on rosemary
Reference antioxidative compounds:	camosic acid and camosol
Content of reference antioxidative compounds:	min. 4.2 %, expressed as the total of camosic acid and camosol
Content of camosic acid:	min. 4.0 %
Antioxidant/Volatiles ratio:	≥ 15
Arsenic:	max. 3 mg/kg
Lead:	max. 2 mg/kg
Solubility:	oil
<i>Microbiological quality:</i>	
Total plate count	< 1000 CFU/g
Yeasts and moulds	< 100 CFU/g
<i>Salmonellae</i>	negative/25 g
<i>Enterobacteriae</i>	negative
<i>Coliform bacteria</i>	<10/g
<i>Escherichia coli</i>	negative/g
<i>Bacillus cereus</i>	negative/g

\*Color variations may occur from batch to batch.

Information provided is offered in good faith but without guarantee, since conditions and methods of use of our products are beyond our control. By accepting this shipment, the recipient agrees not to use this product for the purpose of infringing patents, trademarks or the like.



## PRODUCT SPECIFICATION

### **INOLENS 4 (Product code: 301779)**

Vitiva d.d.  
Nova vas 98  
2281 Markovci  
SLOVENIA  
Tel.: + 386 2 7888 733  
Fax: + 386 2 7888 731  
e-mail: [service@vitiva.eu](mailto:service@vitiva.eu)  
[www.vitiva.eu](http://www.vitiva.eu)

#### **GMO status:**

*INOLENS 4* complies with European legislation Nr. 1829/2003 and Nr. 1830/2003. All the plant materials (dry rosemary leaves) used in the extraction process are GMO free. We also certify that we have not used any raw material or added any additive of GMO origin.

#### **Continuing food guaranty:**

*INOLENS 4* is manufactured in accordance with ISO 9001, HACCP, GMP and within the compliance of the Federal Food, Drug and Cosmetic Act.

#### **Regulatory status:**

- rosemary extract is classified as a food additive (antioxidant) in accordance with EU Regulation 1333/2008 on food additives with amendments and complies with Commission Regulation (EU) No. 231/2012 of 9 March 2012 laying down specifications for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council
- rosemary is GRAS (*Generally Recognized As Safe*) by the FDA 21 CFR 182.10 (can be used in all food application in any concentration)
- rosemary extract is classified as a natural flavour by the FDA 21 CFR 101.22
- Kosher (certificates available upon request)

#### **Storage conditions:**

Store in a well closed container, protected from light, moisture and air at room temperature.

**Shelf life:** Shelf life at recommended storage conditions is at least 12 months.

#### **Packaging:**

*INOLENS 4* is available in 5 kg and 20 kg (11 lb and 44 lb) PE jugs. Other sizes of packaging are available on request.

#### **Safety and handling:**

Material safety data sheet is available on request.

Information provided is offered in good faith but without guarantee, since conditions and methods of use of our products are beyond our control. By accepting this shipment, the recipient agrees not to use this product for the purpose of infringing patents, trademarks or the like.

## PRILOGA B: Specifikacija ekstrakta SyneROX 4 (302002) (Vitiva, 2013b)



### PRODUCT SPECIFICATION

#### SyneROX 4 (Product code: 302002)

Vitva d.d.  
Nova vas 98  
2281 Markovci  
SLOVENIA  
Tel.: + 386 2 7888 733  
Fax: + 386 2 7888 731  
e-mail: [service@vitiva.eu](mailto:service@vitiva.eu)  
[www.vitiva.eu](http://www.vitiva.eu)

#### Description:

*SyneROX 4* is a blend of natural rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extract with other functional ingredients that can provide synergistic effects.

#### Composition:

vegetable oil, tocopherols, rosemary extract

#### Specification:

Form at room temperature:	viscous liquid
Color:	amber*
Odor:	slightly on rosemary
Reference antioxidative compounds:	camosic acid and camosol
Content of reference antioxidative compounds:	min. 3.7 %, expressed as the total of camosic acid and camosol
Content of camosic acid:	min. 3.5 %
Antioxidant/Volatiles ratio:	≥ 15
Arsenic:	max. 3 mg/kg
Lead:	max. 2 mg/kg
Solubility:	oil, ethanol
<i>Microbiological quality:</i>	
Total plate count	< 1000 CFU/g
Yeasts and moulds	< 100 CFU/g
<i>Salmonellae</i>	negative/25 g
<i>Enterobacteriae</i>	negative
<i>Coliform bacteria</i>	<10/g
<i>Escherichia coli</i>	negative/g
<i>Bacillus cereus</i>	negative/g

\*Color variations may occur from batch to batch.

Information provided is offered in good faith but without guarantee, since conditions and methods of use of our products are beyond our control. By accepting this shipment, the recipient agrees not to use this product for the purpose of infringing patents, trademarks or the like.



## PRODUCT SPECIFICATION

### **SyneROX 4 (Product code: 302002)**

Vitiva d.d.  
Nova vas 98  
2281 Markovci  
SLOVENIA  
Tel.: + 386 2 7888 733  
Fax: + 386 2 7888 731  
e-mail: [service@vitiva.eu](mailto:service@vitiva.eu)  
[www.vitiva.eu](http://www.vitiva.eu)

#### **GMO status:**

*SyneROX 4* complies with European legislation Nr. 1829/2003 and Nr. 1830/2003. All the plant materials used in the extraction process are GMO free. We also certify that we have not used any other raw material or added any additive of GMO origin.

#### **Continuing food guaranty:**

*SyneROX 4* is manufactured in accordance with ISO 9001, HACCP, GMP and within the compliance of the Federal Food, Drug and Cosmetic Act. Kosher certificates are available upon request.

#### **Storage conditions:**

Store in a well closed container, protected from light, moisture and air at room temperature.

#### **Shelf life:**

Shelf life at recommended storage conditions is at least 12 months.

#### **Packaging:**

*SyneROX 4* is available in 5 kg and 20 kg (11 lb and 44 lb) PE jugs. Other sizes of packaging are available on request.

#### **Safety and handling:**

Material safety data sheet is available on request.

## PRILOGA C: Specifikacija ekstrakta SyneROX HT (302144) (Vitiva, 2013c)



### PRODUCT SPECIFICATION

#### SyneROX HT (Product code: 302144)

Vitiva d.d.  
Nova vas 98  
2281 Markovci  
SLOVENIA  
Tel.: + 386 2 7888 733  
Fax: + 386 2 7888 731  
e-mail: [service@vitiva.eu](mailto:service@vitiva.eu)  
[www.vitiva.eu](http://www.vitiva.eu)

#### Description:

*SyneROX HT* is a blend of natural rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extract with other functional ingredients that can provide synergistic effects.

#### Composition:

vegetable oil, rosemary extract, CITREM (E 472c)

#### Specification:

Form at room temperature:	viscous liquid
Color:	amber*
Odor:	slightly on rosemary
Reference antioxidative compounds:	camosic acid and camosol
Content of reference antioxidative compounds:	min. 4.2 %, expressed as the total of camosic acid and camosol
Content of camosic acid:	min. 4.0 %
Antioxidant/Volatiles ratio:	≥ 15
Arsenic:	max. 3 mg/kg
Lead:	max. 2 mg/kg
Solubility:	oil, ethanol, dispersible in water

#### Microbiological quality:

Total plate count	< 1000 CFU/g
Yeasts and moulds	< 100 CFU/g
<i>Salmonellae</i>	negative/25 g
<i>Enterobacteriae</i>	negative
<i>Coliform bacteria</i>	<10/g
<i>Escherichia coli</i>	negative/g
<i>Bacillus cereus</i>	negative/g

\*Color variations may occur from batch to batch.

Information provided is offered in good faith but without guarantee, since conditions and methods of use of our products are beyond our control. By accepting this shipment, the recipient agrees not to use this product for the purpose of infringing patents, trademarks or the like.



## PRODUCT SPECIFICATION

### **SyneROX HT (Product code: 302144)**

Vitiva d.d.  
Nova vas 98  
2281 Markovci  
SLOVENIA  
Tel.: + 386 2 7888 733  
Fax: + 386 2 7888 731  
e-mail: [service@vitiva.eu](mailto:service@vitiva.eu)  
[www.vitiva.eu](http://www.vitiva.eu)

#### **GMO status:**

*SyneROX HT* complies with European legislation Nr. 1829/2003 and Nr. 1830/2003. All the plant materials used in the extraction process are GMO free. We also certify that we have not used any other raw material or added any additive of GMO origin.

#### **Continuing food guaranty:**

*SyneROX HT* is manufactured in accordance with ISO 9001, HACCP, GMP and within the compliance of the Federal Food, Drug and Cosmetic Act. Kosher certificates are available upon request.

#### **Storage conditions:**

Store in a well closed container, protected from light, moisture and air at room temperature.

#### **Shelf life:**

Shelf life at recommended storage conditions is at least 12 months.

#### **Packaging:**

*SyneROX HT* is available in 5 kg and 20 kg (11 lb and 44 lb) PE jugs. Other sizes of packaging are available on request.

#### **Safety and handling:**

Material safety data sheet is available on request.