

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĶĪMIJAS FAKULTĀTE

**Ķīmiskā sastāva izvērtējums svaigi spiestās augu eļļās ar
gāzu hromatogrāfijas-masspektrometrijas metodēm**

BAKALAURA DARBS

Autors: **Emīls Francis**

Studenta apliecības nr.: ef10032

Darba vadītājs: Dr. chem. Pēteris Mekšs

Rīga

2017

ANOTĀCIJA

Ķīmiskā sastāva izvērtējums svaigi spiestās augu eļļās ar gāzu hromatogrāfijas-masspektrometrijas metodēm. Francis E., vadošais pētnieks Dr. chem. Mekšs P. Kursa darbs. 52 lappuses, 19 attēli, 9 tabulas, 65 literatūras avoti, 23 pielikumi. Latviešu valodā.

Literatūras apskata ietvaros apkopota informācija par piesātinātajām, mononepiesātinātām un polinepiesātinātām taukskābēm, to noteikšanu svaigi spiestās un komerciāli pieejamās augu eļļās, pielietojot gāzu hromatogrāfijas un masspektrometrijas metodes.

Eksperimentālajā daļā tika izstrādātas metodes eļļu taukskābju sastāva izvērtēšanai un noteikšanai ar dažādām polidimetilsiloksānu kapilārajām kolonnām kā arī dažādiem detektoriem – liesmas jonizācijas un masspektrometrisko. Praktiski tika izvērtēts 5 svaigi spiestu paraugu, kā arī 4 komerciāli pieejamo eļļu taukskābju sastāvs.

TAUKSKĀBES, METILESTERI, GĀZU HROMATOGRĀFIJA, MASSPEKTROMETRIJA, LINOLSKĀBE, LINOLĒNSKĀBE.

ABSTRACT

Chemical evaluation of the composition of freshly squeezed vegetable oils by gas chromatography-mass spectrometry methods. Francis E. supervisor Dr. chem Mekšs P. Course thesis, 52 pages, 19 figures, 9 tables, 65 literature references, 23 appendices. In Latvian.

The theoretical portion of this thesis consists of a literature review regarding saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids and their determination in freshly squeezed as well as commercially available vegetable oils by the application of gas chromatography and mass spectrometry methods.

In the experimental portion of the thesis, a method for the preparation of the samples as well as determination of fatty acids, by using different polydimethylsiloxane columns as well as different detectors – flame ionization and mass spectrometer detectors, have been developed. 5 freshly squeezed samples and 4 commercially available products were examined.

FATTY ACIDS, METHYLESTERS, GAS CHOMATOGRAPHY, MASS SPECTROMETRY, LINOLEIC ACID, LINOLENIC ACID.

SATURS

ANOTĀCIJA	2
ABSTRACT.....	3
APZĪMĒJUMU SARAKSTS	7
IEVADS.....	8
1. LITERATŪRAS APSKATS	10
1.1. Rapsis un tā izplatība	10
1.2. Sējas lini un to izplatība.....	11
1.3. Sējas kaņepe un tās izplatība.....	11
1.4. Rapša, linsēklu un kaņepju eļļas	12
1.5. Galveno taukskābes raksturojums.....	15
1.6. Omega-6 un omega-3 taukskābju attiecība.....	18
1.7. Augu eļļu taukskābju analīze	19
1.7.1. Lipīdu ekstrakcijas metodes.....	19
1.7.2. Taukskābju metilesteri	21
1.7.3. Taukskābju metilesteru analīze pielietojot gāzu hromatogrāfiju.....	23
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻĀ.....	28
2.1. Paraugu iegūšana, uzglabāšana un sagatavošana.....	28
2.2. Taukskābju noteikšana augu taukos.....	28
2.2.1. Reaģenti	28
2.2.2. Aparatūra un trauki parauga sagatavošanai	29
2.2.3. Parauga sagatavošana gāzu hromatogrāfijai	29
2.2.4. Gāzu hromatogrāfijas aparatūra, lietojot sistēmu ar MS	30
2.2.5. Gāzu hromatogrāfijas apstākļi, lietojot sistēmu ar MS.....	30
2.2.6. Gāzu hromatogrāfijas aparatūra, lietojot sistēmu ar LJD	31
2.2.7. Gāzu hromatogrāfijas apstākļi, lietojot sistēmu ar LJD.....	31
2.3. Datu apstrāde, lietojot sistēmu ar MS detektoru.....	32

2.4. Datu apstrāde, lietojot sistēmu ar LJD	32
2.5. Aprēķinu formulas	32
3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS.....	34
3.1. Eļļas saturs “ <i>Forte</i> ” rapšu sēklās	34
3.2. Eļļas saturs “ <i>Vega 2</i> ” linu sēklās	35
3.3. Eļļas saturs “ <i>Bialobrzeskie</i> ” kaņepju sēklās	36
3.4. Eļļas saturs “ <i>Goccia d’oro</i> ” olīveļļā	37
3.5. Eļļas saturs “ <i>Rapsītis</i> ” rapšu eļļā	38
3.6. Salīdzinājums starp svaigi spiestu un komerciāli iegādātu rapšu eļļu.	39
3.7. Salīdzinājums starp svaigi spiestu un komerciāli iegādātu linu eļļu.....	40
3.8. Salīdzinājums starp svaigi spiestu un komerciāli iegādātu kaņepju eļļu.	41
3.9. Salīdzinājums starp apskatītajām augu eļļām.	42
3.10. Salīdzinājums starp <i>HP-5 (LJD)</i> un <i>Rtx-IMs (MS)</i> iegūtajiem datiem.....	44
SECINĀJUMI.....	46
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	47
Pielikumi	53
“ <i>Forte</i> ” rapšu sēklu pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula	53
“ <i>Vega 2</i> ” linu sēklu pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula	54
Rapšu eļļas “ <i>Rapsītis</i> ” pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula.....	55
Olīveļļas “ <i>Goccio d’oro</i> ” pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula	56
“ <i>Bialobrzeskie</i> ” kaņepju sēklu pilna kvantitatīva taukskābju metilesteru tabula	57
Analizēto eļļu dati, iegūti ar LJD	58
“ <i>Vega 2</i> ” linu sēklu taukskābju hromatogramma (MS).....	61
“ <i>Forte</i> ” rapšu sēklu taukskābju hromatogramma (MS).....	61
“ <i>Pūriņu</i> ” kaņepju sēklu taukskābju hromatogramma (MS).....	62
Rapšu eļļas “ <i>Rapsītis</i> ” taukskābju hromatogramma (MS).....	62
Olīveļļas “ <i>Goccio d’oro</i> ” taukskābju hromatogramma (MS).....	63

Omega-3 taukskābes noteikšana “Vega 2” linu sēklās, lietojot datubāzi NIST147	63
Omega-3 taukskābes noteikšana “Forte” rapšu sēklās lietojot datubāzi NIST 147	64
“Vega 2” linu sēklu un “Forte” rapšu sēklu eļļu hromatogrammu salīdzinājums (violetā krāsā iezīmēts rapsis, melnā lini)	64
“Iecavnieks” kaņepju eļļas hromatogramma (LJD)	65
“Iecavnieks” linu eļļas hromatogramma (LJD).....	65
“Goccia d’oro” olīveļļas hromatogramma (LJD).....	65
“Rapsītis” rapšu eļļas hromatogramma (LJD).....	66
“Lirina” linu eļļas hromatogramma (LJD)	66
“Priekuļi” linu eļļas hromatogramma (LJD)	66
“Vega 2” linu eļļas hromatogramma (LJD)	67
“Bialobrezskie” kaņepju eļļas hromatogramma (LJD)	67
“Forte” rapšu eļļas hromatogramma (LJD).....	67

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

- **GH** – Gāzu hromatogrāfija
- **ES** – Eiropas Savienība
- **MS** – Masspektrometriskais detektors
- **m/z** – masas pret lādiņu attiecība
- **LJD** – liesmas jonizācijas detektors
- **VUV** – vakuuma ultravioletais detektors
- **ω6/ ω3** – omega-6 / omega-3 taukskābju attiecība

IEVADS

Mūsdienās pārtikā lietotās eļļas tiek pievienotas ikdienas produktu klāstam. Zinot, ka eļļas iegūšanas nolūkos Latvijā tiek atvēlētas lielas zemes platības, kā arī to, ka ķīmiskais sastāvs eļļai ir būtisks, ir nepieciešams izstrādāt tādas metodes eļļas sastāva izvērtēšanai, kas ļautu izvērtēt to atbilstību normatīvajiem ES dokumentiem.

No linsēklu un rapšu sēklām iegūstamās eļļas Latvijā tiek plaši pielietotas un ražotas kā pārtikas produkti, to ražošanas zemo izmaksu, augstā ražīguma un uzturvērtībā nodrošīgo vielu, kā omega-3 un omega-6 taukskābju dēļ.

Rapša izplatība Latvijā atsākās pēc valsts neatkarības atgūšanas ap 1994. gadu, ārvalstu investoriem ienākot Latvijas tirgū. Lai gan pirmie mēģinājumi vairumā gadījumu saimniecībās bija neveiksmīgi, pastāvēja arī vairāki zīmīgi veiksmes gadījumi, kas iedrošināja vietējos lauksaimniekus turpināt rapšu audzēšanu. Vislielākā platību izaugsme notika tad, kad lauksaimniekiem parādījās iespēja iegūt pirmsiestāšanās ES finansējumu SAPARD veidā. Ekonomiski izdevīga ražošana kļuva pēc lauksaimniecības pakalpojumu kooperatīvās sabiedrības "Laptraps" izveides 2000. gadā, kas veiksmīgi popularizēja rapšu audzēšanu. Lai gan līdz 2007. gadam rapši Latvijā tika audzēti enerģijas ieguvei biodegvielas veidā, pēc 2007. gada tirgus situācija ir krasi mainījusies par labu izmantošanai pārtikā [1].

Lini Latvijas teritorijā tiek audzēti kopš aizvēsturiskiem laikiem, galvenokārt dažādās vietējās izcelsmes linu sugu veidā. Linu selekcija Latvijā tika uzsākta 1923. gadā Stendes selekcijas stacijā. Periodā no 1929.-1970. gadam ar linu selekciju nodarbojās vairākas selekcijas stacijas: Stendes, Priekuļu, Ošupes, Viļānu. Linu sējas platība Latvijā pirms Otrā pasaules kara sasniedza 60,000 hektāru. Latvijas PSR (okupācijas laika) periodā linu nozare netika uzskatīta par prioritāru un 1970. gadā linu selekciju pārtrauca. Pēc Latvijas valsts neatkarības atgūšanas, ap 1993. gadu, tika atsākta linu selekcija un sugu repatriācija. Pašlaik ar linu selekciju nodarbojas Latgales lauksaimniecības zinātnes centrs [2].

Kopš pagājušās desmitgades vidus Eiropas Savienības iniciēti pētījumi saistībā ar alternatīvu energokultūru audzēšanu ir piesaistījuši paaugstinātu uzmanību kaņepju eļļu kultivācijai un sākot ar 2009. gadu kaņepju audzēšana tiek zinātniski pētīta Latgales lauksaimniecības zinātnes centrā. 2017. gadā Latvijā kaņepju sēklu eļļas ir pieejamas no dažādiem izplatītājiem un tiek piedāvātas kā alternatīva plašāk zināmajai zivju eļļai [3].

Darba mērķis:

Izmantojot gāzu hromatogrāfijas un masspektrometrijas metodes, noteikt taukskābju sastāvu, kā arī savstarpēji salīdzināt svaigi spiestās un pārdošanā esošās kaņepju, rapšu un linu sēklu eļļas.

Darba uzdevumi:

1. Apgūt augu eļļu izspiešanas un pāresterificēšanas metodes.
2. Noteikt taukskābju saturu svaigi spiestās un komerciāli iegādātās rapšu sēklu, linsēklu un kaņepju eļļās.
3. Izvērtēt un salīdzināt taukskābju sastāvu iegūtajos paraugos.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Rapsis un tā izplatība

Rapsis (*Brassica napus Lat.*) ir viengadīgs kāpostu jeb krustziežu dzimtas lakstaugs. Rapsis lauksaimniecības nolūkos tika kultivēts jau senajā Indijā 20. gs. p.m.ē.. Rapsis ir ap 30 - 250 (cm) augsts dzeltenīgi zaļš lakstaugs ar lapām, kurām raksturīga nieres veida forma, tam ir vienas garas mietsaknes veida sakņu sistēma, kura nodrošina tā relatīvo izturību pret augsnes izskalošanu. Rapša gaiši dzeltenie ziedi ir izkārtoti vairākās ziedkopās, blīvos ķekaros stublāja un zaru galos. Rapša augļi sasniedz garumu ap 5 – 10 (cm) gara pāksteņa ar tievu īsu knābi veidā, kuru vidū pārdala plēves kārtiņa. Katrā plēves pusē var veidoties līdz 20 sēklām, kopā dodot līdz 40 katrā auglī. Tā sēklām ir ieapaļa vai lodveida forma, tās var būt gan zilganā, gan melni brūnā krāsā. 1000 sēklu masa svārstās no 3 līdz 5 g, to dīgšana ilgst 4 – 5 dienas [4].

Piemērotākā temperatūra rapsim ir ap 10-15°C, tas ir izturīgs pret pēkšņām temperatūras izmaiņām un ir spējīgs pielāgoties temperatūras svārstībām, kā arī dažādiem audzēšanas apstākļiem, piemēram, augsnes mitrumam, gaisa temperatūrai un augsnes skābumam. Eiropā tā eļļa tika lietota kā degviela eļļas lampām kopš 13. gs., bet kopš 17. gs. beigām to lietoja kā smērvielu. Sākotnēji rapša eļļas lietošana pārtikā tika apgrūtināta sakarā ar augsto eruskābes koncentrāciju, šī eļļa saturēja hlorofilu, kas tai piešķīra gan raksturīgu, nepatīkamu garšu, kā arī zaļganu nokrāsu. Pārtikas nolūkos lielos apjomos to sāka audzēt tikai pēc Otrā pasaules kara. Pirms rapsis tika selekcionēts pārtikas patēriņam, tas mēdza saturēt līdz 54% eruskābes. Mūsdienās pielietotā rapšu eļļa, kas Eiropā pakļaujas „00” kvalitātes standartiem, satur līdz 5% eruskābes, ASV līdz 2% eruskābes. Vairumā komerciāli pieejamo eļļu eruskābes saturs ir zem 1% [4, 5].

Kopš 1973. gada tā selekcionētās šķirnes pakāpeniski kļuva aizvien izplatītākas un populārākas, pēc tam kad Kanādas vadošie lauksaimniecības zinātnieki izveidoja kampaņu, popularizējot to kā pārtikas produktu. Mūsdienās rapsis ierindojas starp visplašāk audzētajiem pārtikas eļļas augiem, tas arī ir nozīmīgs biodegvielu ražošanā. Pašlaik rapsis ir otra audzētākā eļļas kultūra pasaulē, kā arī izplatītākais Eiropā. Latvijas teritorijā rapši sāka audzēt pēc 1980. gada, sākotnējie mēģinājumi tika veikti kolhozu sistēmā, bet tie beidzās neveiksmīgi. Plašāka rapša audzēšana atsākās 1999. gadā saistībā ar biodīzeļdegvielas ražošanu.

2015. gadā rapša audzēšanai Latvijā tika atvēlēti jau 293,000 hektāru [4, 8].

1.2. Sējas lini un to izplatība

Parastie, jeb sējas lini (*Linum usitatissimum Lat.*) ir viengadīgs lakstaugs. Agrākie vēsturiskie atradumi liecina, ka lauksaimniecības nolūkos lini kultivēti vismaz 30. gs. p.m.ē. Tuvajos Austrumos auduma izstrādes nolūkos. Linus iedala divās grupās atkarībā no to izmantošanas – eļļas un šķiedras lini. Lini ir ap 60 – 120 (cm) augsti, tievi un sazaroti tikai augšdaļā. To sakņu sistēmu veido mietsaknes veida sakņu sistēma. Linu ziedi parasti briešanas laikā iegūst zilu, violetu vai gaišu dzeltenu krāsu, tie ir izkārtoti vēdekļi vai skrajā, saliktā ķekarā. Linu sēklas ir plakanas, olveida, sēklu virspuse ir spīdīga un gluda. Sēklu krāsa parasti ir brūna vai viegli iedzeltena. Sēklas ir izvietotas 0,6 – 0,8 (cm) garās olveida vai apaļās pogaļās. Pogaļai ir pieci cirkņi; šķērssienu katru cirkni nepilnīgi dala divās daļās, tādēļ uzskata, ka pogaļā ir 10 cirkņi. Katrā no tiem attīstās viena sēkla. Sēklas nogatavojas augustā un septembrī.

Eļļas linus sēj agri pavasarī, kad augsne iesilusi vismaz līdz 3 °C. Lini ir ļoti jutīgi kā pret paaugstinātu skābumu, tā arī pret pārkaļķošanu. Vislabāk tie attīstās vāji skābās augsnēs, kur augsnes pH ir robežās 5,9 – 6,5. Kaļķošanas ietekme uz linu ražu atkarīga no kaļķu devas, augsnes materiālā sastāva, kultivēšanas pakāpes, pH, meteoroloģiskajiem apstākļiem, veģetācijas periodā un citiem faktoriem. Kaļķošana linu ražu visbiežāk negatīvi ietekmē vieglās augsnēs, kā arī jaunapgūtajās zemēs, tāpat sausās un karstās vasarās, kad liniem trūkst mitruma [6]. Lini vēsturiski tika plaši kultivēti auduma iegūšanai, industrijas metožu attīstības gaitā tos pielietoja arī dažādu tapešu, filtru, apavu un būvmateriālu izstrādei. Linu eļļu pārtikā lieto, galvenokārt, kā bagātinātāju, tās termiskās nestabilitātes un ātrās žūšanas dēļ.

Linu audzēšanai 20. gs. laikā ir stipri samazinājusies saistībā ar linu pielietojumu audumu rūpniecībā, izplatoties lēti iegūstamai vilnai un sintētiskām alternatīvām [6]. Latvijā 2015. gadā eļļas liniem tika paredzēti 291,000 hektāri, šķiedras liniem 61,000 hektāri [8].

1.3. Sējas kaņepe un tās izplatība

Kaņepes dzimta *Cannabaceae* ir rožu rindas augu dzimta. Izplatītākās dzimtas sugas ir sējas kaņepes (*Cannabis sativa*), Indijas kaņepes (*Cannabis indica*) un savvaļas kaņepes (*Cannabis redeidis*) [9]. Latvijā galvenokārt izplatīta sējas kaņepe.

Sējas kaņepe (*Cannabis sativa Lat.*) ir kaņepju dzimtas viengadīgs divmāju augs. Pirmie vēsturiskie apraksti par kaņepju audzēšanu ir atrodamī senās Ķīnas un Indijas rakstos aptuveni 10. gs. p.m.ē., kur kaņepes tika lietotas kā ārstniecisks augs [10]. Kaņepes brīvā

dabā tropiskos apstākļos var uzaugt līdz pat 6 (m) augstumam, kaņepju stumbri ir tievi un izteikti sazaroti. Sējas kaņepēm ir raksturīga vāji attīstīta sakņu sistēma. To ziedi ir sakārtoti skarās, to sēklas ir pelēcīgas, ovālas.

Sējas kaņepes sēj maija sākumā, piemērotākā augsnes temperatūra ir 8 – 10°C ap 2-3 (cm) dziļumā. To audzēšanai nav izmantojamas blīvas un vieglas, sausas augsnes. Piemērotākais pH 6,0 – 7,5. Kaņepes vēsturiski tika audzētas audumu iegūšanai, kā arī medicīniskos nolūkos. Kaņepju eļļu pārtikā lietot ir apgrūtināti, jo tā ātri bojājas, oksidējoties un padarot to nepiemērotu arī cepšanai. Sējas kaņepes Latvijā ir sens kultūraugs, bet 20. gs. vidusdaļā tā audzēšanu Latvijā aizliedza, vēlāk atļaujot audzēt tikai ar īpašām atļaujām. Mūsdienās Latvijā uz kaņepju audzēšanu attiecas ierobežojumi, kas aizliedz tās audzēt telpās vai slēgtās platībās [11]. 2015. gadā Latvijā sējas kaņepei tika paredzēti 125,000 hektāru [8].

1.4. Rapša, linsēklu un kaņepju eļļas

Latvijā linsēklu, rapšu un kaņepju eļļas, galvenokārt, tiek iegūtas ar auksto spiešanas metodi, kuras rezultātā tiek saglabāta eļļu raksturīgā garša, smarža un krāsa, kā arī tajās atrodamās bioloģiski aktīvās vielas, kā, piemēram, glicerīdu sastāvā atrodamās omega-3, omega-6 un omega-9 mononepiesātinātās un polinepiesātinātās taukskābes. Eļļu sastāvā, galvenokārt, ir taukskābju glicerīdi, bet taukskābju sastāvs ir atšķirīgs, līdz ar to arī to uzturvērtība un īpašības atšķiras [12].

Pēc ES direktīvām, lai rapšu eļļu varētu izmantot pārtikā, eruskābes saturs nedrīkst pārsniegt 5% no kopējā taukskābju sastāva [5, 13]. Rapšu eļļas taukskābju sastāvs ir līdzīgs olīveļļas sastāvam. Tā ir bagāta ar vitamīnu E, fitosterīniem, kā β -sitosterīnu un kampesterīnu, omega-6 (linolskābes veidā) taukskābēm un omega-3 (α -linolēnskābes veidā), kas savstarpēji ir ideālā 2:1 attiecībā [14]. Rapšu eļļa, galvenokārt, satur oleīnskābi, linolskābi, α -linolēnskābi, palmitīnskābi un stearīnskābi [15].

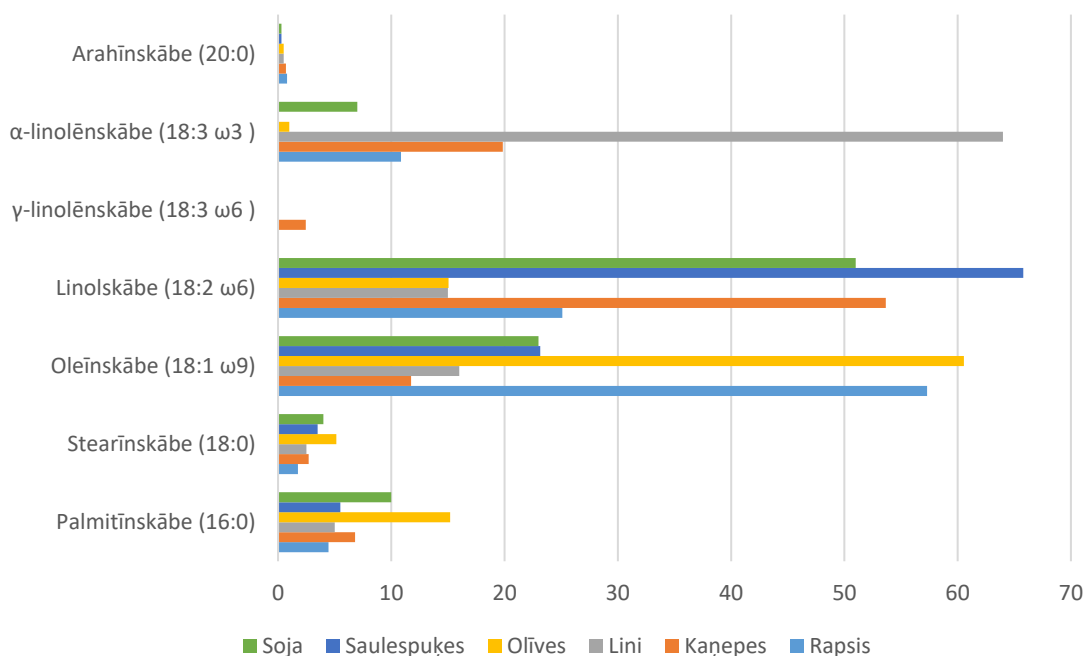
Linsēklu eļļa satur augstāko omega-3 (α -linolēnskābes veidā) taukskābju daudzumu no dabiski iegūstamajām eļļām. Eļļa nav piemērota cepšanai. Tā satur daudz polinepiesātināto taukskābju glicerīdu, kas saskarē ar gaisu strauji polimerizējas, izraisot eļļas sacietēšanu. Šīs īpašības dēļ, to plaši lieto kā laku izgatavošanai. Linsēklu eļļa, galvenokārt, satur α -linolēnskābi, oleīnskābi, linolskābi, palmitīnskābi un stearīnskābi [15].

Kaņepju eļļai ir laba attiecība starp omega-6 (linolskābes veidā) taukskābēm un omega-3 (α -linolēnskābes veidā) taukskābēm, savstarpējā 3:1 attiecībā. Eļļa nav piemērota cepšanai. Gluži kā linsēklu eļļa, tā satur daudz polinepiesātināto taukskābju glicerīdu, kas

saskarē ar gaisu izraisa eļļas sacietēšanu. Kaņepju eļļa satur, galvenokārt, linolskābi, α -linolēnskābi, oleīnskābi, palmitīnskābi un γ -linolēnskābi [16].

Visbiežāk gan Latvijas, gan starptautiski ražotās eļļas tiek rafinētas, kas ir process, kura rezultātā eļļas tiek attīrītas no dažādiem fosfatīdiem, vaskiem, pigmentiem un bioloģiski aktīvam vielām, kas paātrina eļļas oksidēšanos, iegūstot bezkrāsainu eļļu bez garšas, kurai ir ilgs uzglabāšanās laiks. Šī procesa rezultātā tiek zaudētas arī dažādas cilvēka organismam lietderīgas vielas, piemēram, vitamīni [18].

Izplatītāko taukskābju saturs rapšu, linu un kaņepju eļļās apkopots un salīdzināts ar citu izplatītu eļļu taukskābju saturu attēlā 1.1 un tabulā 1.1. [13-17, 19].



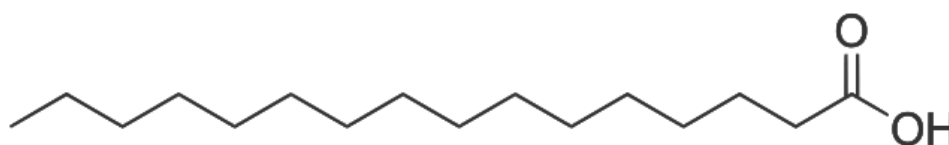
1.1 att. Taukskābju saturs rapšu, linu un kaņepju eļļās, salīdzinājumā ar citu izplatītu augu eļļu saturu

Taukskābju saturs rapšu, linu un kaņepju eļļās, salīdzinājumā ar citu augu eļļu saturu

Taukskābe	Eļļas saturs, %					
	Rapsis	Kaņepes	Lini	Olīvas	Saulespuķes	Soja
Palmitīnskābe (16:0)	3,0-5,9	5,0-8,6	4,0-6,0	12,5-17,9	5,0-5,9	8,9-10,4
Stearīnskābe (18:0)	0,9-2,6	2,1-3,2	2,0-3,0	4,5-5,8	2,9-3,8	4,5-8,6
Oleīnskābe (18:1 ω9)	51,4-63,2	7,9-15,6	10,0-22,0	58,7-74,4	21,4-24,9	22,4-24,6
Linolskābe (18:2 ω6)	20,6-29,6	48,9-58,4	12,0-18,0	13,3-16,8	60,2-71,4	49,1-54,4
γ-linolēnskābe (18:3 ω6)		0,5-4,4				
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	7,9-13,8	14,8-24,9	56,0-71,0	0,9-1,0		6,2-7,4
Arahīnskābe (20:0)	0,7-0,9	0,4-1,0	0,5-0,6	0,4-0,5	0,2-0,3	0,1-0,5
Piesātinātās taukskābes	4,7-8,6	7,3-10,7	6,6-9,9	18,2-25,5	9,9-10,9	5,6-16,2
Mononepiesātinātās taukskābes	51,6-63,6	10,6-14,7	10,4-22,3	60,9-64,4	22,4-25,6	24,1-32,9
Polinepiesātinātās taukskābes	30,3-40,1	74,4-84,0	68,2-89,3	14,5-17,7	88,1-92,4	54,1-73,4
ω6/ ω3 attiecība	1,9-3,4	2,4-3,1	0,2-0,4	4,4-11,0	200+	7,6-8,9

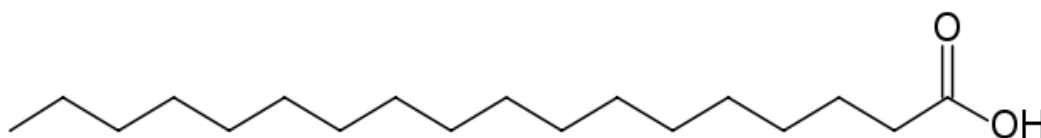
1.5. Galveno taukskābes raksturojums

Palmitīnskābe, jeb heksadekānskābe, ir piesātināta, nesazarota taukskābe kas sastāv no 16 oglekļa atomu ķēdes, tā ir visplašāk izplatītā piesātinātā taukskābe dzīvniekos, augos un mikroorganismos glicerīdu formā. Tās sāļus un esterus sauc par palmiātiem. Īpaši augsta palmitīnskābes koncentrācija atrodas palmu eļļā, no kurienes arī radies taukskābes nosaukums. Dažādu esteru formā šī taukskābe atrodama arī vasku sastāvā [19]. Palmitīnskābe ir atrodama cilvēka taukos, kur tā sastāda līdz 21-30% no daudzuma un ir prekursors garākām taukskābēm [20]. Novērots, ka augsts palmitīnskābes patēriņš var novest pie kardiovaskulārām slimībām [21]. Palmitīnskābe tiek pielietota, ražojot ziepes, kosmētiku un tās nātrija sāļi tiek lietoti kā pārtikas papildinātāji. Palmitīnskābes struktūrformula parādīta 1.2. att.



1.2. att. **Palmitīnskābes struktūrformula**

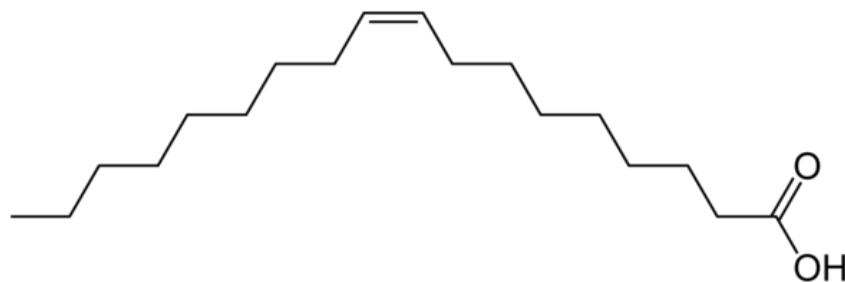
Stearīnskābe, jeb oktadekānskābe, ir piesātināta, nesazarota taukskābe, kas sastāv no 18 oglekļa atomu ķēdes, tās esterus sauc par stearātiem. Brīvā veidā tā ir vaskaina, balta cieta viela. Stearīnskābe ir viena no izplatītākajām piesātinātajām taukskābēm glicerīdu formā pēc palmitīnskābes [19]. Cilvēka organismā stearīnskābe tiek oksidēta par oleīnskābi un salīdzinoši reti veido esterus ar holesterīnu [22]. Stearīnskābe tiek lietota, ražojot ziepes, smērvielas, kosmētiku un pārtikas bagātinātājus. Stearīnskābes struktūrformula parādīta 1.3. att.



1.3. att. **Stearīnskābes struktūrformula**

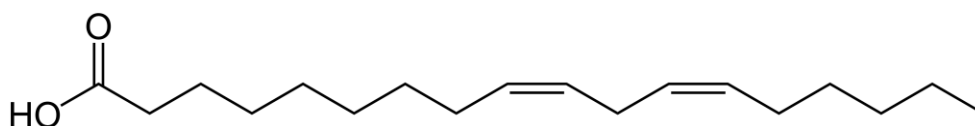
Oleīnskābe, jeb cis-9-oktadecēnskābe, ir omega-9 mononepiesātināta, nesazarota taukskābe, kas sastāv no 18 oglekļa atomu ķēdes, tās esterus sauc par oleātiem. Oleīnskābe ir visizplatītākā mononepiesātinātā taukskābe augu eļļās un ir viena no izplatītākajām taukskābēm glicerīdu formā. Cilvēku taukaudos tā ir visizplatītākā taukskābe un otra izplatītākā taukskābe cilvēka audos kopumā pēc palmitīnskābes [23, 24]. Īpaši augsta

oleīnskābes koncentrācija ir atrodama olīveļļā, kas satur līdz 75% oleīnskābes, no kurienes arī radies taukskābes nosaukums [19]. Cilvēka organismā oleīnskābe tiek sintezēta, oksidējot stearīnskābi vai uzņemot ar pārtiku [22]. Augsta koncentrācija oleīnskābes atrodama augu eļļās, vistas gaļā un sierā [25]. Mononepiesātinātas taukskābes veicina pazeminātu zema blīvuma lipoproteīnu līmeni cilvēka organismā un paaugstina augsta blīvuma lipoproteīnu līmeni [26]. Tiek domāts, ka oleīnskābe ir pamatā olīveļļas asins spiediena samazinošās iedarbības pamatā [27]. Lai gan novērots, ka augsts mononepiesātinātu taukskābju līmenis eritrocītu membrānās ir saistīts ar paaugstinātu krūts vēža iespējamību, ir novērots, ka oleātu lietošana samazina krūts vēža risku [28]. Oleīnskābi lieto, ražojot ziepes, tās nātrija sāls tiek lietots kā emulgators. Oleīnskābe tiek lietota, lai izraisītu plaušu audu bojājumus dažādām dzīvnieku sugām, lai pētītu zāles kuras paredzētas lai ārstētu plaušu slimības [29]. Oleīnskābes struktūrformula parādīta 1.4. att.



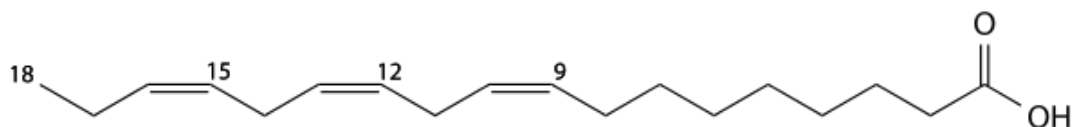
1.4. att. Oleīnskābes struktūrformula

Linolskābe, jeb cis,cis-9,12-oktadekadiēnskābe, ir omega-6 nepiesātināta, nesazarota taukskābe kas sastāv no 18 oglekļa atomu ķēdes. Linolskābe ir viena no divām neizstājamajām taukskābēm, kuras cilvēka organisms nespēj anaboliski sintezēt. Dienā ieteicams uzņemt 10 (g) [30]. Cilvēka organismā linolskābe tiek lietota, lai sintezētu augstākas taukskābes, kā arahīnskābi, kas tiek lietota lai sintezētu prostaglandīnus, vēl tā tiek lietota, lai sintezētu leikotriēnus un tromboksānu; linolskābe ir atrodama arī šūnu membrānās [31]. Linolskābe tiek lietota, lai ražotu ātri žūstošas krāsas un lakas, kā arī kosmētikas produktus, kuri tiek lietoti kā mitrinoši un pret pinņu līdzekļi [32]. Linolskābes struktūrformula parādīta 1.5. att.

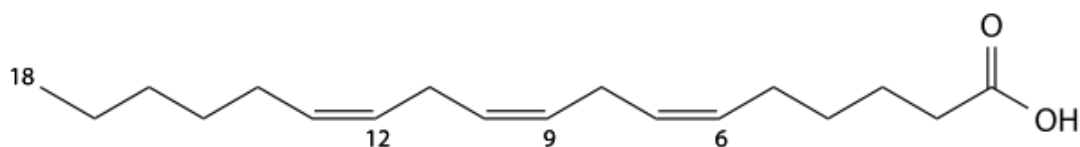


1.5. att. Linolskābes struktūrformula

Linolēnskābes ir divas atšķirīgas polinepiesātinātas 18 oglekļa atomu ķēdes taukskābes, kuras atšķiras ar dubultsaišu izvietojumu. Izplatītākā ir α -linolēnskābe, jeb cis, cis - 9, 12, 15 oktadekāntriēnskābe, mazāk izplatīta ir γ -linolēnskābe, jeb cis, cis, cis – 6, 9, 12 oktadekāntriēnskābe, kas ievērojamos daudzumos atrodama galvenokārt kaņepju eļļā. Abas linolēnskābes viegli oksidējas, novedot pie ātras bojāšanās. [16] α -linolēnskābe ir viena no divām neaizstājamajām taukskābēm, kuras cilvēka organisms nespēj anaboliski sintetēt, dienā ieteicams uzņemt 2 (g) [30]. Novērots, ka α -linolēnskābe palīdz novērst kardiovaskulāras slimības [33] un, lai gan ir veikti pētījumi, kas liecina, ka α -linolēnskābe var palielināt iespējamību saslimt ar prostatas vēzi, pastāv arī pētījumi, kas nav atraduši šādu sakarību [34, 35]. Mazāk izplatīto γ -linolēnskābi cilvēka organisms spēj anaboliski sintetēt [30]. Cilvēka organismā γ -linolēnskābe tiek izmantota, lai sintetētu prostaglandīnus un tromboksānus. Nav novērotas īpašas priekšrocības vai kaites, kuras izraisītu γ -linolēnskābes paaugstināts patēriņš, un tās komerciāla pārdošana tiek uzskatīta par ētiski apšaubāmu [36]. Abu linolēnskābju struktūrformulas paārdītas 1.6 un 1.7 att.



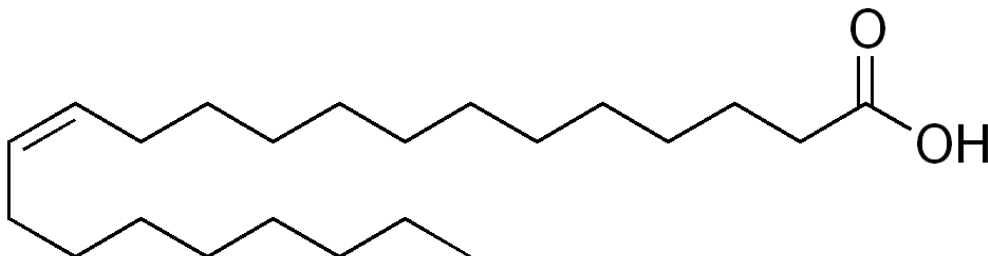
1.6. att. α -linolēnskābes struktūrformula



1.7. att. γ -linolēnskābes struktūrformula

Eruskābe, jeb cis-13-dokozēnskābe, ir mononepiesātināta, 22 oglekļa atomu nesazarotas ķēdes omega-9 taukskābe. Erukskābe galvenokārt atrodama sinepju un rapšu eļļās [15, 19]. Vēsturiski eruskābes samazināšana bija nosacījums, lai to varētu lietot pārtikā, jo pirms intensīvas selekcionēšanas, kuru veica 1970. gadu sākumā, eruskābes saturs rapšu eļļā bija līdz 50% [4]. Mūsdienās eruskābes daudzums pārtikā lietotajās eļļās ir samazināts zem 1%. Pēc ES direktīvām eruskābes saturs augu eļļās nedrīkst pārsniegt 5% [5]. Ir atrasta eruskābes toksiska iedarbība augstās koncentrācijās uz žurku kardiovaskulāro sistēmu, bet šāda saikne nav atrasta cilvēku eruskābes patēriņam. ES regulas ir izstrādātas pēc datiem, kas

iegūti eksperimentos ar dzīvniekiem [37]. Maksimālā pieļaujamā eruskābes deva ir 500 (mg) dienā [38]. Cilvēka organismā eruskābe tiek noārdīta aknās līdz zemākām taukskābēm. Eruskābe ātri žūst, polimerizējoties saskarē ar gaisu, to lieto kā smērvielu. Eruskābes struktūrformula parādīta 1.8. att.



1.8. att. Eruskābes struktūrformula

1.6. Omega-6 un omega-3 taukskābju attiecība

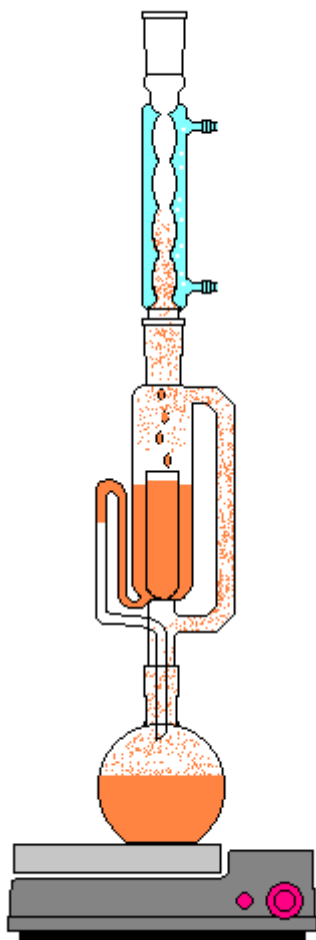
Īpaši nozīmīgs taukskābju kvalitatīvā satura raksturlielums ir to saturā esošo omega-6 un omega-3 taukskābju attiecība. Taukskābju attiecība ir nozīmīga galvenokārt to mijiedarbības dēļ, jo procesus, kurās tās piedalās, nevar izvērtēt atsevišķi, jo to iedarbība vairumā gadījumu ir pretēja. Omega-3 un omega-6 taukskābes piedalās vairākos organismam būtiskos procesos. Lai gan ap 1990. gadu tika uzskatīts, ka optimālā ir attiecība ap 5:1, mūsdienās tiek uzskatīts ka šī attiecība ir tuvāk 2:1 vai pat 1:1. Pakāpeniska attiecības korekcija saistīta ar veiktajiem pētījumiem par dažādu tautu uzturu, kad tika konstatēta zema kardiovaskulāro slimību izplatība starp Vidusjūras valstu iedzīvotājiem. Lai gan diskusijas par optimālo attiecību turpinās, nav zinātniski noskaidrota optimāla šo taukskābju attiecība [49]. Iekaišana ir viens no procesiem, kuros iesaistītas omega-6 un omega-3 taukskābes. Iekaišana ir organisma audu atbildes aizsargreakcija patoloģiska procesa veidā. Omega-3 taukskābes mazina iekaišanas izraisīšanu un veicināšanu, sintezējot prostaglandīnus un leukotrēnus, kas ir atbildīgi par šo procesu regulāciju, bet omega-6 taukskābes, sintezējot tos, pastiprina iekaišanu. Šīs īpašības pamatā ir omega-3 taukskābju raksturīgā īpašība mazināt iekaisumu [50]. Omega-6 un omega-3 taukskābju optimālas attiecības ievērošana ir būtiska arī tādēļ, ka tā samazina kardiovaskulāro slimību, ādas un onkoloģisko slimību riskus [51]. Pētījumi liecina, ka mednieku-vācēju sabiedrībās uzturā uzņemto omega-6 un omega-3 taukskābju attiecība bija ap 1:1, bet mūsdienās attīstītajā pasaulē vairums cilvēku uzturā minētās taukskābes uzņem attiecībā ap 15:1 [49, 52].

1.7. Augu eļļu taukskābju analīze

1.7.1. Lipīdu ekstrakcijas metodes

Lipīdi ir ūdenī nešķīstoši un to ekstrakcijai no audiem, šūnām vai pārtikas produktiem parasti lieto organiskus šķīdinātājus. Izplatītākās metodes ir balstītas uz Soksleta (*Soxhlet method*), Folha (*Folch method*), vai Blaija un Daiera (*method of Bligh and Dyer*) metodēm.

Soksleta metodi izveidoja Francs von Sokslets (*Franz von Soxhlet*) 1879. gadā. Metodi sākotnēji izveidoja lipīdu ekstrakcijai no citiem materiāliem. Soksleta ekstrakcijas metodi visbiežāk lieto gadījumā, ja ekstrahējamās vielas šķīdība ir ierobežota izvēlētajā šķīdinātājā. Tās galvenā priekšrocība ir augsta efektivitāte, lietojot mazu daudzumu šķīdinātāja, kā arī nav nepieciešama nepārtraukta darba vietas uzraudzība. Kolba, kurā paredzēts iegūt ekstraktu, ir savienota ar Soksleta ekstraktoru, kura ekstrakcijas kamerā ir ievietots ciets paraugs, Soksleta ekstraktoram ir pievienots atteces dzesinātājs. Metodes princips ir karsēt šķīdinātāju, ar kuru paredzēts ekstrahēt lipīdu līdz viršanai, tā tvaikiem nonākot atteces dzesinātājā un atdziestot, kondensējoties un ietekot ekstrakcijas kamerā. Kad kamera ir gandrīz pilna, šķīdinātājs ietek kolbā, ekstrahējot daļu no cietajā paraugā esošajiem lipīdiem. Cikls var turpināties stundām un pat dienām bez papildus rīcībām, tādā veidā ar katru ciklu kolbā tiek uzkrāti lipīdi. Soksleta ekstrakcija ir ļoti laukietilpīga un to lieto salīdzinoši maz [39]. Iekārtas darbības princips parādīts 1.9 attēlā [40].



1.9. att Soksleta ekstrakcijas iekārta

Folha metode tika izstrādāta 1957. gadā un tā tiek, galvenokārt, lietota paraugiem ar augstu lipīdu saturu. Folha metode ir balstīta sasmalcināta pārtikas produkta ekstrakcijā, pielietojot hloroforma un metanola šķīdumu attiecībā 2:1. Paraugu samaisa un centrifugē vai filtrē, šķīdno fāzi atdala ar destilētu ūdeni vai 0,9% nātrija hlorīda šķīdumu. Pēc slāņu atdalīšanas centrifugējot, organiskais hloroforma slānis tiek ietvaicēts līdz vēlamajam tilpumam vai sausajam atlikumam. Mūsdienās biežākās metodes modifikācijas ir destilētā ūdens vai nātrija hlorīda šķīduma aizstāšana ar kālija hlorīda šķīdumu. Iegūto ekstraktu izšķīdina atbilstoši izvēlētajai pārestifikācijas metodei [41].

Bligh and Dyer metode lipīdu ekstrakcijai ir līdzīga Folha metodei. Lipīdu ekstrakcijai tajā tiek lietots šķīdinātāju maisījums no hloroform un metanola (1:2 attiecībā). Pēc tam paraugam pievieno tik daudz metanola, lai hloroforma un metanola tilpumi būtu vienādi. Šķīdumu intensīvi maisa, pievieno destilētu ūdeni, samaisa un centrifugē, pēc centrifugēšanas atdala apakšējo organiskā šķīdinātāja slāni [42].

Jaunākos literatūras avotos tiek minētas arī citas lipīdu ekstrakcijas metodes, piemēram, rapšu eļļas analīzē tiek veikta ekstrakcija ar virskritisko oglekļa dioksīdu [43, 56]. Šo metodi galvenokārt lieto, ja nepieciešams iegūt pilnīgāku eļļas ekstrakciju no sēklām [43].

Lipīdu ekstrakciju, galvenokārt, nepieciešams veikt, ja analizējamā objekta agregātstāvoklis un uzbūve, kā arī salīdzinoši zemais lipīdu saturs neļauj iegūt lipīdu frakciju tiešā veidā. Rapšu, kaņepju un linu sēklas satur pietiekami daudz eļļas, tādēļ no tām lipīdu frakciju var iegūt ar aukstās spiešanas metodi [44].

1.7.2 Taukskābju metilesteri

Lai gan ir iespējams triglicerīdus analizēt, tieši izmantojot augstas temperatūras [45], glicerīdos esošās taukskābes parasti tiek pārvērstas metilesteros. Taukskābju metilesteriem ir zemākas viršanas temperatūras, tie ir mazāk polāri par attiecīgajām taukskābēm un tie nemēdz veidot ūdeņraža saites, kuras noved pie adsorbcijas apgrūtinājumiem. Šo īpašību rezultātā ir vieglāk veikt kvalitatīvu un kvantitatīvu taukskābju analīzi ar hromatogrāfijas metodēm [15, 47].

Parasti taukskābju metilesterus iegūst ar bāzu vai skābju katalizētu esterifikāciju. Bāzu katalizēta esterifikācija straujāk norisinās istabas temperatūrā, salīdzinājumā ar skābju katalizētu esterifikāciju, kālija hidroksīda vai nātrija hidroksīda katalizēta metanolīze notiek 2 minūšu laikā glicerolipīdiem un stundas laikā 37°C sterīnu esteriem. Tomēr bāzes nespēj katalizēt brīvo taukskābju esterificēšanos [48].

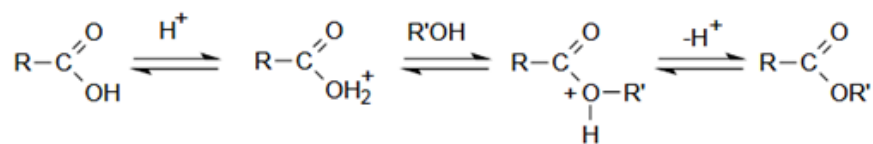
Sērskābe ir lietderīgs katalizators taukskābju metilesteru iegūšanai, bet tā ir ļoti korozīva un viskoza, tādēļ tiek reti pielietota. Bora trifluorīds ir bieži lietots skābes esterificēšans katalizators, lai iegūtu metilesterus, bet tā lietošanu ierobežo tā kaitīgums, likumdošana un salīdzinoši īss glabāšanas laiks. Gan bora trifluorīda, gan sērskābes lietošana augstās temperatūrās vai koncentrācijās veicina artefaktu rašanos [48].

Neskatoties uz apgrūtinājumiem, bora trifluorīds ir lietderīgs katalizators, jo ar to ir iespējams panākt arī brīvo taukskābju esterifikāciju, ko nav iespējams izdarīt bāzu katalizētās reakcijās. Bora trifluorīda kā katalizatoru nav ieteicams pielietot, esterificējot taukskābes, kas satur konjugētās divkārsās saites, jo tas var novest pie šo saišu konfigurācijas izmaiņas, kas savukārt noved pie neprecīzu atbilstošo taukskābju daudzuma noteikšanas analīzes laikā. Tādēļ nav ieteicams lietot bora trifluorīda metodi liellopu gaļas un piena produktu analīzē [41].

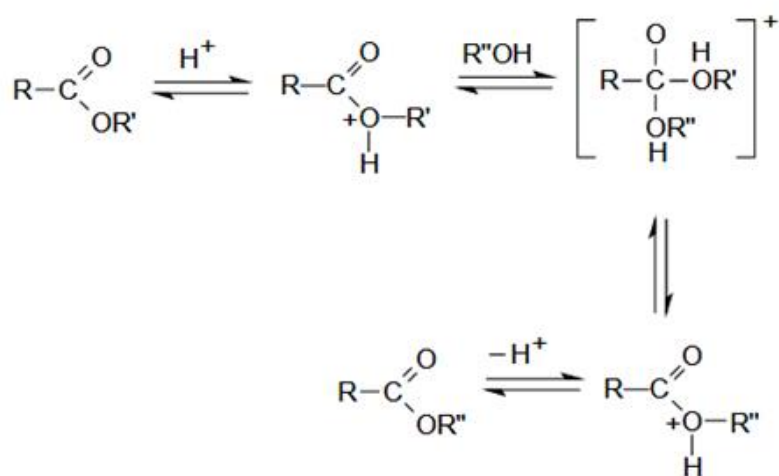
Sālsskābe ir visbiežāk pielietotais katalizators skābju esterifikācijai, jo tā, salīdzinot ar bora trifluorīdu vai sērskābi, ir relatīvi maiga, kā arī tā dod labus kvantitatīvās analīzes rezultātus. Tā kā ar šo skābēs esterifikācijas metodi var esterificēt arī brīvās taukskābes, šī metode ir piemērota, lai esterificētu eļļas, kas satur vērā ņemamus daudzumus brīvo taukskābju [48]. Viens no iemesliem, kādēļ ieteicams lietot maigākus skābju reagentus, īpaši esterificējot eļļas kuras satur lielu īpatsvaru polinepiesātinātu taukskābju, ir iespējamās ķīmiskās reakcijas starp taukskābēm un katalizatoru, ienesot taukskābē nevēlamas funkcionālās grupas. [53]

Lai gan aprakstītās metodes ir visbiežāk lietotās taukskābju metilesteru iegūšanai, situācijās, kurās vēlams pārsesterificēt brīvās taukskābes, bet skābju katalizatori var mainīt to funkcionālās grupas, var nākties pielietot citas metodes. Brīvo taukskābju esterifikācija iespējama arī bāziskā vidē, karsējot dimetilsulfāta un dicikloheksamīna klātbūtnē. Brīvo taukskābju esterifikāciju var arī izpildīt dimetilformamīda vidē izmantojot skudrskābes metilesterus viegli bāziskā vidē. [53]

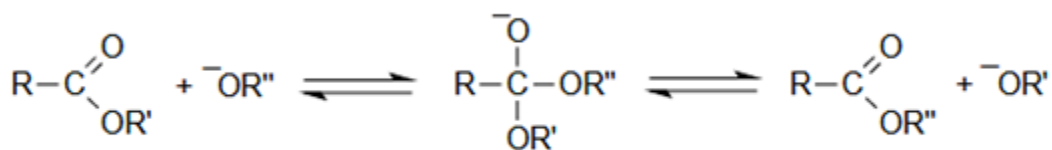
Bāzu un skābju katalizētas esterifikācijas shēmas parādītas 1.10, 1.11. un 1.12. att. [53].



1.10. att. Skābju katalizēta taukskābju esterifikācijas shēma.



1.11. att. Skābju katalizēta lipīdu pārsesterifikācijas shēma.



1.12. att. Bāzu katalizēta lipīdu pārsterifikācijas shēma.

1.7.3. Taukskābju metilesteru analīze pielietojot gāzu hromatogrāfiju

Gāzu hromatogrāfija ir visbiežāk lietotā no hromatogrāfiskajām metodēm taukskābju noteikšanai, to var lietot, lai analizētu taukskābes gan brīvā veidā, gan arī to metilesteru formā. Pirmais no iemesliem, kuru dēļ ieteicama taukskābju analīze metilesteru veidā, ir brīvo taukskābju augstā polaritāte, kas noved pie ūdeņraža saišu veidošanās, kas, savukārt, pazemina hromatogrāfijas efektivitāti taukskābju satura noteikšanai. Otrs iemesls ir tas, ka, lai izšķirtu līdzīgas uzbūves taukskābes, to polārās un skābās karboksilgrupas ir jāneitralizē, kas dod iespēju kolonnai atdalīt tās pēc viršanas temperatūras, pēc dubultsaišu novietojuma un pēc *cis* un *trans* konfigurācijas. Trešais iemesls, kura dēļ ieteicama taukskābju metilesteru izmantošana, ir to viršanas temperatūras, kas ir zemākas par brīvo taukskābju viršanas temperatūrām.

Galvenās nesējgāzes, kuras lieto augu eļļu analīzei taukskābju metilesteriem, vairumā gadījumu ir hēlijs, [54-59], slāpeklis [60] un ūdeņradis [43]. Katrai no nesējgāzēm ir specifiskas priekšrocības. Slāpeklis tiek uzskatīts par efektīvu, bet darbs ar to ir laikietilpīgs sakarā ar to, ka augstu efektivitāti var sasniegt šaurā plūsmu diapazonā. Ūdeņradim ir raksturīgas zemas izmaksas, plašs plūsmas ātruma diapazons, kas ļauj ātri veikt analīzi. Tiek uzskatīts, ka mūsdienās, atbilstoši rīkojoties ar ūdeņradi, to var uzskatīt par drošu nesējgāzi. Hēlija īpašības kā nesējgāzei atrodas starp ūdeņraža un slāpekļa īpašībām, bet tā cenas ir salīdzinoši augstas, salīdzinot ar ūdeņradi vai slāpekli. Analīzes ātrumu ietekmē analīta difūzijas ātrums nesējgāzē, kurš ūdeņradī un hēlijā ir līdzīgs, bet slāpekļa gadījumā ir aptuveni četras reizes mazāks, kas nosaka zemāku efektivitāti. Hēlija un slāpekļa viskozitātes ir savstarpēji tuvas, bet ūdeņraža viskozitāte ir aptuveni divas reizes zemāka, kas ļauj veikt analīzi visātrāk. Gāzu īpašības lielā mērā nosaka to viskozitāte un difūzivitāte, kuras apkopotas 1.2. tabulā [61, 62].

Būtiski raksturlielumi nesējgāzēm

Nesējgāze	Viskozitāte (50°C, kg/(s·m))	Difūzijas koeficients (butānā 100°C, m ² /t)
Ūdeņradis	9,4	6·10 ⁻⁶
Hēlijs	20,8	5,5·10 ⁻⁶
Slāpekļis	18,8	1,5·10 ⁻⁶

Paraugi tiek ievadīti hromatogrāfiskajā sistēmā ar automātisko paraugu ievadīšanas ierīci vai rokvadībā. Atkarībā no parauga apstrādes, izmantotās kolonnas, nekustīgās fāzes, izvēlētās temperatūras programmas un nesējgāzes, parasti tiek ievadīta daļa no parauga robežās no 1:10 līdz 1:100 [54-60]. Ja nepieciešams noteikt brīvās taukskābes bez metilesterifikācijas apstrādes, tad ieteicamāka ir tiešā parauga ievade bez plūsmas dalījuma [54]. Plūsmas dalījums tiek izvēlēts ar nolūku neizraisīt kolonnas pārslodzi un sasniegt optimālu hromatogrāfisko joslu izšķiršanu.

Kolonnas izvēle var tikt uzskatīta par svarīgāko apstākli, jo no tās stipri atkarīga analīzes kvalitāte. Atkarībā no nekustīgās fāzes izvietojuma, izšķir ar adsorbentu pildītas un kapilārās kolonnas. Pildītajās kolonnās adsorbents tiek apstrādāts ar šķidro nekustīgo fāzi, kura pārklāj porainā sorbenta daļiņas, veidojot lielu virsmu (ap 100 m²/g). Kapilārajās kolonnās nekustīgā fāze ir uznesta plānā slānī uz kolonnas iekšējām sienām, atstājot pārējo kolonnas tilpumu nesējgāzei. Kapilārās kolonnas iedala:

- *SCOT (support coated open tubular columns)*, kur uz kolonnas iekšsienām uzneests smalki disperss porains nesējs ar nekustīgās šķidrās fāzes slāni;
- *WCOT (wall coated open tubular columns)*, kur uz kolonnas iekšsienas uznesta ķīmiski saistīta plāna nekustīgā fāze;
- *PLOT (porous-layer open tubular columns)*, kur uz kolonnas iekšsienas uzneests porains sorbents.

SCOT kolonnās tiek uzklāta šķidrās nekustīgās fāzes kārtā uz cietā adsorbenta, kurš uzneests uz kolonnas iekšējām sienām. Šķidrās nekustīgās fāzes loma ir nodrošināt mijiedarbību starp analizējamo vielu un cieto nesēju, nosakot parauga sastāvdaļu secīgu izdalīšanos. Cietajam nesējam jābūt ar relatīvi lielām porām, mazu diametru, sfēriskam un mehāniski izturīgam. Šķidrajai nekustīgajai fāzei jābūt termiski stabīlai, inertai, viskozai un

ar labu šķīdību specifiskajā organiskajā šķīdinātājā. Šķidrās fāzes klasificē pēc to polaritātes, kas gan vairumā gadījumu ir atkarīga no polāro funkcionālo grupu skaitu tajā. Par nekustīgajām fāzēm lieto skvalēnu, siloksānus (kas satur dažādas funkcionālās grupas, kā metil-, fenil-, cianopropil- un citas grupas), polietilēnglikolu (*Carbowax*), poliamīdus (piem. *POLY-A-103*) u.c. Šādas šķidrās nekustīgās fāzes tiek lietotas arī *WCOT* kolonnās, tās uzklājot tieši uz kapilāra sienām. No nekustīgās fāzes slānīša biezuma ir atkarīgs analīzes laiks, pieļaujamais analīta daudzums (nepārslogojot kolonnu), kā arī kolonnas efektivitāte. Relatīvi biezs nekustīgās fāzes slānis (ap 50 μm) ļauj izmantot lielāku daudzumu parauga, bet šādi parasti samazinās izšķiršana. *WCOT* kolonnas ir piemērotas, lai atdalītu maisījumus ar daudziem komponentiem, tomēr pastāv ierobežojumi sakarā ar kolonnas zemo kapacitāti. *WCOT* kolonnām ir raksturīga vislabākā izšķiršanas spēja attiecībā pret citām kolonnām [63].

PLOT kolonnās lieto termiski, mehāniski un ķīmiski izturīgus porainus materiālus ar viendabīgu poru sadalījumu un zināmu adsorbcijas efektivitāti. Šāda veida nekustīgajām fāzēm ir raksturīgs zems fona līmenis darbā ar jonizējošiem detektoriem, spēja izturēt augstas temperatūras un laba selektivitāte [63, 64].

Kapilārās kolonnas tiek izgatavotas no nerūsējošā tērauda, kvarca vai stikla. Stikla kolonnu trūkums ir to mehāniskais trauslums, savukārt tērauda kolonnas, kuru sastāvā atrodas dzelzs un hroms, ir reaģētspējīgas un, galvenokārt, piemērotas tikai nepolāriem analītiem. Kvarca kolonnas izgatavo no kausēta silīcija dioksīda, kuram raksturīgs inertums un augsta tīrība. Šo īpašību dēļ kvarca kolonnas ir visizplatītākās un piemērotas taukskābju metilesteru analīzei. Kolonnu garumi ir robežās no 5 līdz 200m, kapilāro kolonnu iekšējais diametrs no 0,10 līdz 0,53 mm [63].

Apskatītajos zinātniskajos rakstos par taukskābju saturu eļļās, tika lietotas šādas kapilārās kolonnas (garums / diametrs / nekustīgās fāzes pārklājuma biezums). Jaunākā literatūrā aprakstītā hromatogrāfijas sistēma ir 2D paveida sistēma, kas sastāv no divām pārī savienotām kolonnām:

- BD-EN 14103 (30m / 0,32 mm / 0,25μm) [54];
- SLB-IL111 (60m / 0,25 mm / 0,20 μm) [55];
- DB-HT-SIMDIS (5m / 0,53 mm / 0,15 μm) [43];
- BP70 (50m / 0,30 / 0,25 μm) [56];
- HP-88 (100m / 0,25m / 0,20 μm) [57, 60];
- CP FFAP CB (30m / 0,25mm / 0,32μm) [58];

- 2D (DB-FFAP (30m / 0,25 mm / 0,25 μm) un DBPX-50 (1,5m / 0,1mm / 0,1 μm) [59].

Izplatītākais detektors gāzu hromatogrāfijā ir liesmas jonizācijas detektors (LJD), kurš arī ir visplašāk izmantotais taukskābju metilesteru noteikšanā [43, 54, 56, 58, 60]. Liesmas jonizācijas detektors mēra jonizēto daļiņu plūsmas strāvu, kas rodas, vielai sadegot udeņraža liesmā. LJD darbība balstās uz organisko vielu spēju jonizēties udeņraža liesmā, kā rezultātā detektora kamerā rodas jonu plūsmas radītā strāva, kuras stiprums ir proporcionāls lādēto daļiņu skaitam. Pastāv uzskats, ka joni veidojas termojonizācijas un termiskās disociācijas ceļā, kā rezultātā veidojas radikāļi, kuriem, nonākot liesmas karstākajā zonā, radikāļu ogleklis oksidējas un jonizējas. Tādēļ LJD signāls ir proporcionāls oglekļa atomu skaitam ogļūdeņražos. LJD detektors nereaģē uz karbonil- un karboksilgrupām, tas ir nejutīgs pret skudrskābes tvaikiem. LJD jutība ir $10^{-9} - 10^{-12}$ g un tā linearitātes apgabals ir $10^7 - 10^8$. Liesmas jonizācijas detektora darbībai bez nesējgāzes vajadzīgs arī udeņradis un gaiss. LJD ir jutīgs pret organiskām vielām, bet nejutīgs pret gaisu, sēra oksīdiem, CO_2 , CO , H_2S , NH_3 , CS_2 un H_2O tvaikiem. Šie ierobežojumi netraucē taukskābju metilesteru analīzē. Iegūtās hromatogrammas salīdzina ar standartvielu šķīdumiem pēc to izdalīšanās laika [63].

Otrs galvenais detektors, kuru pielieto taukskābju metilesteru noteikšanai, ir masselektīvais detektors (MS) [48, 57, 59]. Strādājot ar MS, galvenā priekšrocība ir tā spēja identificēt katru taukskābi atbilstoši masspektru datu bāzei, līdz ar to nav nepieciešams lietot standartšķīdumus, kā arī pastāv iespēja noteikt savienojumus, kuri neatrodas standartšķīdumā. MS darbojas no kolonnas izdalīto taukskābju metilesterus jonizējot, bombardējot molekulas tvaika fāzē ar elektroniem. Apskatītajos zinātniskajos rakstos tika lietota elektronu jonizācijas enerģija 70 eV un pētītas daļas ar m/z no 40 līdz 650 [57, 59]. Molekulu jonizācijas rezultātā taukskābju metilesteri tiek pārvērsti jonos, kuri tiek sadalīti pēc to masas / lādiņa (m/z) attiecības, kustoties elektromagnētiskajā laukā. Detektorā tiek uztverts katras daļiņas atbilstošais m/z signāls, pārveidots strāvā, tas tiek uztverts un apstrādāts ar datorprogrammu, kura konstruē masspektru. Salīdzinot eksperimentālo masspektru ar datu bāzi, var noskaidrot masspektram atbilstošo vielu [63].

Taukskābju metilesteru noteikšanai mēdz lietot arī vakuuma ultravioleto detektoru (VUV), kurš tiek uzskatīts par modernu, augstas precizitātes detektoru [55].

Atbilstoša temperatūras uzturēšana GH-MS sistēmā ir ļoti būtiska, lai varētu iegūt pareizus analītiskos rezultātus. Termostatēšana tiek attiecināta uz detektora, parauga ievadīšanas kameras un kolonnas temperatūras režīmiem, kuros tiek lietotas atšķirīga

nemainīga temperatūra vai temperatūras programma. Kolonnu termostats ir telpa ar precīzi kontrolētu temperatūru ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), kuras izmēri ļauj ievietot kolonnu un kurā viscaur ir vienāda temperatūra. Termostati parasti ir ar programmējamu temperatūru, ko var veikt ar dažādiem ātrumiem. Termostatam jāspēj ātri mainīt temperatūru, precīzi sekojot programmas profilam, kā arī jābūt ar zemu termisko masu, lai to varētu ātri atdzesēt, atbilstoši analīzes nosacījumiem. Īpaši būtiski ir pievērst uzmanību kolonnu termostatam, jo no tā, galvenokārt, ir atkarīga joslu izdalīšanās, izšķīršana un tas nodrošina analizējamā parauga pārvietošanās ātrumu kolonnā. Tiek lietoti lineāri un pakāpiena veida temperatūras gradienta režīmi. Pakāpiena režīmā tiek lietoti izturēšanas periodi. Apskatītajos zinātniskajos darbos vairums metožu lieto pakāpiena temperatūras gradienta režīmu [56-59]. Dažādu taukskābju metilesteru izdalīšanai vairums temperatūru programmu uzsāk analīzi robežās no $40-80^{\circ}\text{C}$ un aptuveni 30 minūšu laikā, ar atšķirīgām programmām, turpina līdz $240-290^{\circ}\text{C}$ augšējai robežai, kas ir pietiekami augu eļļu sastāvā esošo taukskābju metilesteru izdalīšanai [54-60, 65]. Gadījumos, ja nav iepriekš veikta kāda savienojuma analīze, nepieciešams atrast analīzes apstākļus eksperimentāli, izvēloties temperatūras gradientu, kurā augstākā viršanas temperatūra pārsniegta par vismaz 30°C [63].

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻĀ

2.1. Paraugu iegūšana, uzglabāšana un sagatavošana

Bakalaura darbā izmantotie rapšu, linu un kaņepju sēklu paraugi tika ievākti no Latvijas zemnieku saimniecībām. “*Bialobrezskie*” kaņepju sēklas tika ievāktas 2008. gadā, “*Forte*” rapša sēklas tika ievāktas 2010. gadā, “*Vega 2*” linu sēklas tika ievāktas 2012. gadā, “*Priekuļi*” linu sēklas tika ievāktas 2009. gadā, “*Lirina*” linu sēklas tika ievāktas 2010. gadā. Bakalaura darba izpildei tika izpētītas četras komerciāli pieejamas eļļas, “*Goccia d’oro*” olīveļļa (izcelsmes valsts: Itālija), “*Rapsītis*” rapšu eļļa (izcelsmes valsts: Igaunija), SIA “*Iecavnieks*” ražota komerciāli pieejama “*Kaņepju eļļa*” (izcelsmes valsts: Latvija, Iecava), SIA “*Iecavnieks*” ražota komerciāli pieejama “*Linsēklu eļļa*” (izcelsmes valsts: Latvija, Iecava). Sēklu paraugi tika attīrīti no sēnalām un piemaisījumiem, sijājot tos caur sietu. Eļļa tika izspiesta ar *Fluxana TYP-PR-25* (SN:080602) presi, izmantojot 2-3 bar spiedienu un uzglabāta 3 ml slēgtā stikla traukā līdz tālākai apstrādei.

- “*Bialobrezskie*” kaņepju sēklas tika saspiestas 2 bar spiedienā;
- “*Lirina*” linu sēklas tika saspiestas ar 2 bar spiedienu;
- “*Priekuļi*” linu sēklas tika saspiestas 3 bar spiedienā;
- “*Forte*” rapša sēklas tika saspiestas 3 bar spiedienā;
- “*Vega 2*” linu sēklas tika saspiestas 2 bar spiedienā.

2.2. Taukskābju noteikšana augu taukos

2.2.1 Reaģenti

- n-Heksāns (*Sigma Aldrich*, analītiski tīrs);
- Acetons 98% (*Sigma Aldrich*);
- Petrolēteris 98% (*Sigma Aldrich*);
- Metanols, hromatogrāfijas kvalitātes, ūdens frakcija zem 0,05% (*Sigma Aldrich*);
- Nātrijs metoksīda šķīdums 0,02 mol/l;
- Etiķskābe, analītiskā standarta kvalitātes, ūdens frakcija zem 0,15% (*Sigma Aldrich*);
- Etiķskābes šķīdums n-heksānā 0,2 mol/l;
- Dejonizēts ūdens (*Sigma Aldrich*);
- Bezūdens nātrijs sulfāts (*Analytika, Ltd*; analītiski tīrs);

2.2.1.1. Šķīdumu gatavošana

- Nātrija metoksīda 0,02 mol/l šķīdumu pagatavo 0,200 l mērkolbā, izšķīdinot 0,16g metāliskā nātrija hromatogrāfijas kvalitātes (*HPLC grade*) metanolā un uzpildot kolbu līdz atzīmei;
- Etiķskābes šķīdumu n-heksānā pagatavo 0,200 l mērkolbā, izšķīdinot 2,5 ml ledus etiķskābes n-heksānā un uzpildot līdz atzīmei.

2.2.2. Aparatūra un trauki parauga sagatavošanai

- Slāpekļa plūsmas strūkļa;
- Motorpipete;
- 10 ml mēģenes;
- 4 ml stikla trauki ar plastmasas vākiem;
- Centrifūga *Jouan B4i*;
- Analītiskie svāri *Precisa XB 220A*, precizitāte $\pm 0,0001$ g;
- Plastmasas spieķis.

2.2.3. Parauga sagatavošana gāzu hromatogrāfijai

Trīs 10 ml mēģenes tika rūpīgi skalotas secīgi ar destilētu ūdeni, acetonu, petrolēteri un heksānu, pēc tam izpūstas ar slāpekļa plūsmas strūkļu līdz sausam stāvoklim. Apmēram 10 mg rapšu, linu un kaņepju sēklu spiestās eļļas tika pārnestas atsevišķās mēģenēs, kurām ar motorpipeti pievienoja 4 mL heksāna. Katrā mēģenē ar motorpipeti pārnesa 2 ml 0,02 mol/l nātrija šķīduma metanolā un intensīvi kratīja 15 minūtes, pēc tam šķīdumam pievienoja 1 mL 0,2 mol/l etiķskābes šķīduma ar motorpipeti un turpināja kratīt 5 minūtes. Šķīdumiem ļāva nostāties, līdz bija manāmi divi slāņi. Ar motorpipeti no katra šķīduma pārnesa no augšējā slāņa 4 ml atsevišķos stikla traukos ar plastmasas vākiem, pievienoja 0,1 g bezūdens nātrija sulfāta katram un kratīja, līdz nātrija sulfāts saistīja heksāna slānī esošo ūdeni. Ar motorpipeti pārnesa aptuveni 1,0 ml šķīduma no 4 ml stikla trauka uz iepriekš nelietotu 4 ml stikla trauku un to centrifugēja 5 minūtes ar 2000 apgriezieniem minūtē. Analīzei lietoja augšējo dzidro heksāna slāni.

2.2.4. Gāzu hromatogrāfijas aparatūra, lietojot sistēmu ar MS

- Gāzu hromatogrāfs – masspektrometrs *Shimadzu GC MS-QP 2010*;
- GH kapilārā kolonna *Restek Rtx-IMs* (100% dimetilpolisiloksāns, 30 m x 0,25 mm; $d_f = 0,25 \mu\text{m}$);
- Masselektīvs detektors ar kvadrupolu analizatoru un elektronu trieciena jonizāciju (70 eV).

2.2.5. Gāzu hromatogrāfijas apstākļi, lietojot sistēmu ar MS

Autoinjektora iestatījumi. Šļirces skalošana ar šķīdinātāju veikta 2 reizes, ar paraugu 1 reizi. Parauga injekcijas tilpums 1,0 μL .

Injektora apstākļi. Injektora temperatūra 290°C, plūsmas dalījuma injekcijas režīms (*split*) ar plūsmas dalījuma attiecību 1:30, plūsmas kontroles režīms lineārs ātrums (*linear velocity ang.*), spiediens 59,8 kPa, kopējā plūsma 54,9 (ml/min), plūsma cauri kolonnai 1,20 (ml/min), lineārais ātrums 36,8 (cm/sec), ventilācijas plūsma (*purge flow ang.*) 3,0 (ml/min). Hēlijs (99,999%) tika lietots par nesējgāzi.

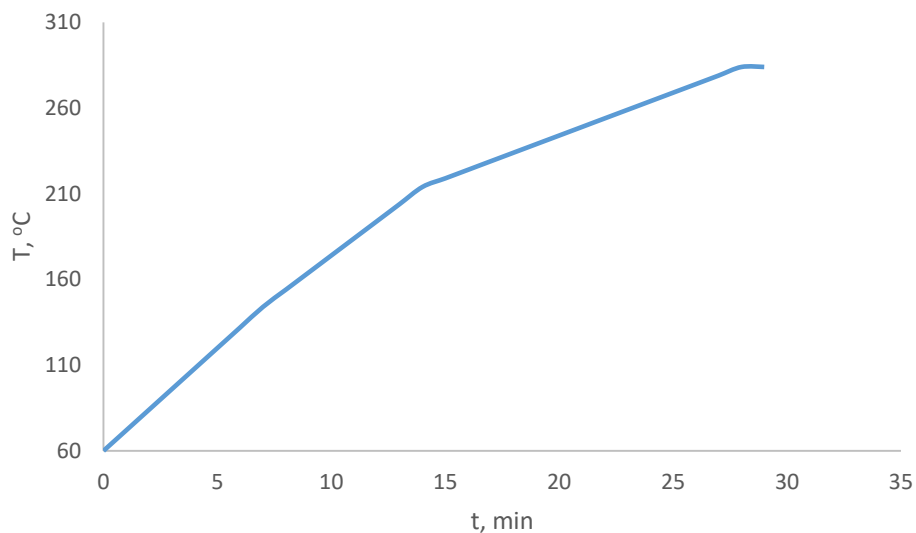
Massselektīvā detektora iestatījumi. Jonu avota temperatūra 230°C, pārejas moduļa temperatūra 250°C, skenēto jonu masu diapazons m/z 45-500, detektora strāva 0,2 kV, skenēts 1000 reizes sekundē.

Kolonnas iestatījumi. GH kapilārā kolonna *Restek Rtx-IMs*, darba temperatūras intervāls – no 60°C līdz 350°C. Garums 30 m, iekšējais diametrs 0,25mm, nekustīgās fāzes biežums 0,25 μm . Kolonnas temperatūras gradients parādīts 2.1 tabulā un 2.1 att.

2.1. tabula.

Kolonnas temperatūras gradients

Karsēšanas ātrums, °C/min	Temperatūra (līdz), °C	Izturēšanas laiks, min
-	60	0
12	140	0
10	210	0
5	280	1



2.1. att. Kolonnas temperatūras gradients

2.2.6 Gāzu hromatogrāfijas aparatūra, lietojot sistēmu ar LJD

- Gāzu hromatogrāfs – *Agilent Technologies 7820-A GC*;
- GH kapilārā kolonna *HP-5* (5% -fenil, 95% -dimetilpolisiloksāns, 30 m x 0,32 mm; $d_f = 0,25 \mu\text{m}$);

2.2.7. Gāzu hromatogrāfijas apstākļi, lietojot sistēmu ar LJD

Autoinjektora iestatījumi. Virzuļa ātrums – mainīgs, skalots ar $300 \mu\text{L}/\text{min}$ un izdalīts ar $6000 \mu\text{L}/\text{min}$, skalojot ar paraugu un šķīdinātāju. Skalošana gan ar šķīdinātāju, gan ar paraugu veikta 2 reizes.

Injektora apstākļi. Injektora temperatūra 300°C , injekcijas režīms ar plūsmas dalījumu (*split*) attiecībā 1:100, spiediens kolonnas ieejā - 9,9403 psi, plūsmas ātrums $2 \text{ ml}/\text{min}$. Kā nesējgāze tika lietots hēlijs (99,999%).

Liesmas jonizācijas detektora iestatījumi. Krāsns temperatūra 300°C , gaisa plūsma $300 \text{ ml}/\text{min}$, ūdeņraža plūsma $30 \text{ ml}/\text{min}$, nesējgāzes plūsma $2 \text{ ml}/\text{min}$.

Kolonnas iestatījumi. GH kapilārā kolonna *HP-5*, darba temperatūras intervāls – no 60°C līdz 325°C . Garums 30 m, iekšējais diametrs $0,320 \text{ mm}$, nekustīgās fāzes slānīša biezums $0,25 \mu\text{m}$. Kolonnas temperatūras gradients parādīts 2.1 tabulā un 2.1 attēlā.

2.3 Datu apstrāde, lietojot sistēmu ar MS detektoru

Ar datorprogrammu *GCMS Solutions 2.3* taukskābju metilesteri tika identificēti, balstoties uz iegūto masspektru salīdzinājumu ar NIST 143 masspektru datu bāzē apkopotajiem masspektriem. Masspektru sakritības kritērijs (*Similarity index*) izplatītākajām taukskābēm bija robežās no 84% līdz 97%, nelielos daudzumos konstatētām taukskābēm tika atrasta spektru sakritība robežās no 73% līdz 97%.

Taukskābju procentuālais īpatsvars tika noteikts, integrējot signālu laukumus un attiecinot tos pret kopējo visu taukskābju signālu laukumu.

2.4. Datu apstrāde, lietojot sistēmu ar LJD

Pirms paraugu analīzes, lietojot iepriekš aprakstītos apstākļus, tika noteikta taukskābju izdalīšanās secība un laiks, lietojot oleīnskābes, linolskābes un α -linolēnskābes standarta šķīdumus. Gadījumā, kad α -linolēnskābes un oleīnskābes signāli pārklājās, tika noskaidrota šo taukskābju attiecība atbilstošās eļļas MS analīzē un šī attiecība tika lietota, lai izteiktu taukskābju aptuvenu īpatsvaru.

Eļļu pāresterifikācijas komponentu izdalīšanas laiki tika salīdzināti ar standartšķīdumu izdalīšanās laikiem un taukskābju procentuālais saturs tika noteikts, integrējot joslas un attiecinot katras sastāvdaļas laukumu pret kopējo visu taukskābju laukumu summu.

2.5. Aprēķinu formulas

1) Eļļas īpatsvaru sēklās aprēķina pēc formulas:

$$x_{\%} = \frac{S_x}{\sum S_n} * 100\% , \text{ kur} \quad (2.1)$$

$x_{\%}$ – taukskābes metilestera saturs, %;

S_x – taukskābes metilestera signāla laukums;

$\sum S_n$ – kopējais taukskābju metilestera signālu laukums.

$$\text{Piemērs: } x_{(\%18:1 \omega 9)} = \frac{9,96 * 10^7}{2,50 * 10^8} * 100\% = 39,9\% \quad (2.2)$$

2) Omega-6/omega-3 taukskābju attiecību aprēķina pēc formulas:

$$\frac{n^{-6}}{n^{-3}} = \frac{\sum S^{-6}\%}{\sum S^{-3}\%}, \text{ kur} \quad (2.3)$$

$\frac{n^{-6}}{n^{-3}}$ – omega-6 un omega-3 taukskābju attiecība;

$\sum S^{-6}\%$ - omega-6 taukskābju signāla laukums;

$\Sigma S^{-3\%}$ - omega-3 taukskābju signāla laukums.

$$\text{Piemērs: } \frac{n^{-6}}{n^{-3}} = \frac{\Sigma S^{-6\%}}{\Sigma S^{-3\%}} = 2,87 \quad (2.4.)$$

3) Standartnovirzi aprēķina pēc formulas:

$$S_n = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - x_v)^2}{n-1}}, \text{ kur} \quad (2.5)$$

S_n – standartnovirze;

x_i – atsevišķa mērījuma vērtība;

x_v – vidējā mērījuma vērtība;

n – mērījumu skaits.

$$\text{Piemērs: } S_{n(0,16;0)} = \sqrt{\frac{(5,98-6,20)^2 + (6,31-6,20)^2 + (6,32-6,20)^2}{3-1}} = \sqrt{0,04} = 0,19 \quad (2.6.)$$

4) Drošības intervālu aprēķina pēc formulas:

$$DI = \frac{t_{p,n} * S_n}{\sqrt{n}}, \text{ kur} \quad (2.7)$$

DI – drošības intervāls;

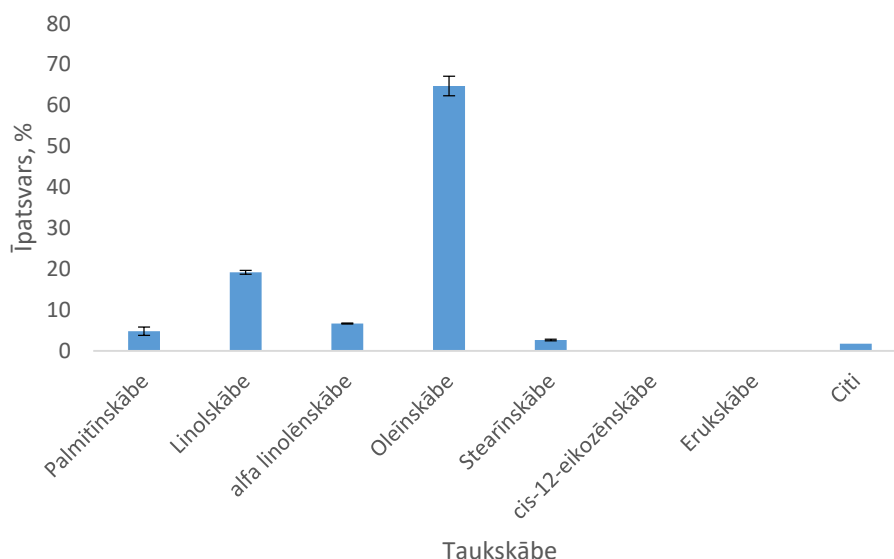
$t_{p,n}$ – Stjudenta koeficients (95% varbūtībai);

n – mērījumu skaits.

$$\text{Piemērs: } DI_{\%} = \frac{4,303 * 0,78}{\sqrt{3}} = 1,3 (\%) \quad (2.8.)$$

3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

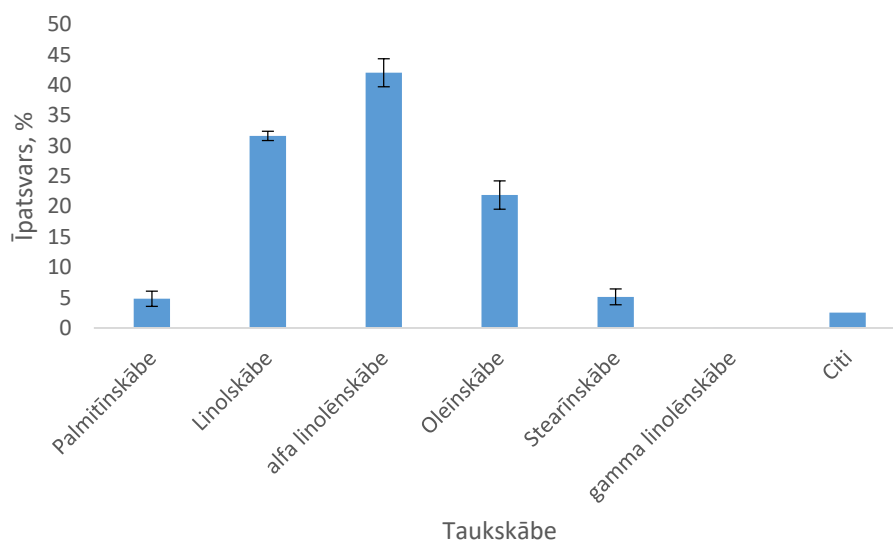
3.1. Eļļas saturs “Forte” rapšu sēklās



3.1. att. Taukskābju saturs rapšu eļļā “Forte”

“Forte” rapšu sēklās tika atrasts taukskābju saturs, kas visu taukskābju gadījumā, atskaitot α -linolēnskābi, atrodas literatūras apskatā atrastajās robežās (skatīt 3.1. att.). Konstatēts, ka “Forte” rapšu sēklās omega-6/omega-3 taukskābju attiecība ir 2,87. Lai gan šis daudzums nesakrīt ar optimālo attiecību 1:1 līdz 2:1, var uzskatīt ka “Forte” rapšu sēklas var tikt lietotas kā pārtikas papildinātājs. “Forte” rapšu sēklas satur salīdzinoši zemu linolskābes un α -linolēnskābes daudzumu, kas uzskatāms par trūkumu, jo gan linolskābe, gan α -linolēnskābes abas ir neaizstājamas taukskābes kuras cilvēka organisms nespēj sintezēt. “Forte” rapšu sēklās tika atrasts tikai 0,04% erukskābes, kas uzskatāms par ļoti labu rādītāju. Taukskābju saturs “Forte” rapšu eļļā apkopots 3.4. tabulā, kā arī salīdzināts ar “Rapsītis” rapšu eļļas saturu 3.1. tabulā.

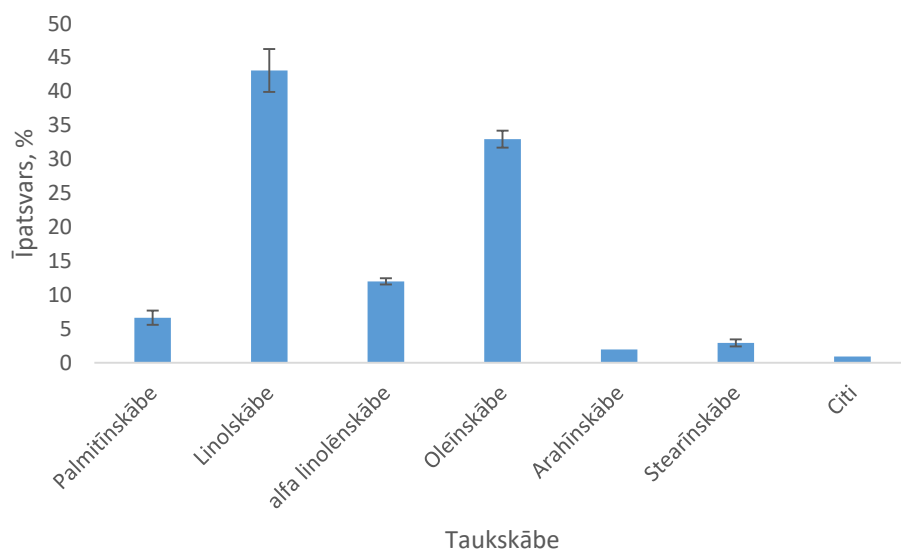
3.2. Eļļas saturs “Vega 2” linu sēklās



3.2. att. Taukskābju saturs “Vega 2” linu sēklās

“Vega 2” linu sēklās tika atrasts taukskābju saturs, kas gandrīz visu taukskābju gadījumā, atskaitot stearīnskābi, atrodas literatūras apskatā norādītajos daudzumos (skatīt 3.2. att.). Atrasts, ka “Vega 2” linu sēklas omega-6/omega-3 taukskābju attiecība ir 0,73. Lai gan šis daudzums tieši nesakrīt ar optimālo attiecību 1:1 līdz 2:1, var uzskatīt, ka “Vega 2” linu sēklas, lietojot kā pārtikas papildinātāju, var apmierināt salīdzinoši augstu nepieciešamo omega-6 taukskābju daudzumu ikdienas uzturā. “Vega 2” linu sēklas satur gan augstu linolskābes daudzumu, gan augstu α -linolēnskābes daudzumu, kas ir labs rādītājs, ja ievēro, ka tās ir neaizstājamās taukskābes, kuras cilvēka organisms nespēj sintezēt. Vērts piezīmēt, ka “Vega 2” linu sēklās atrasti 0,12% γ -linolēnskābes, kura parasti linsēklu eļļā izpaliek. Taukskābju saturs “Vega 2” linsēklu eļļā apkopots 3.4. tabulā, kā arī salīdzināts ar SIA “Iecavnieks” linsēklu eļļas saturu 3.2. tabulā.

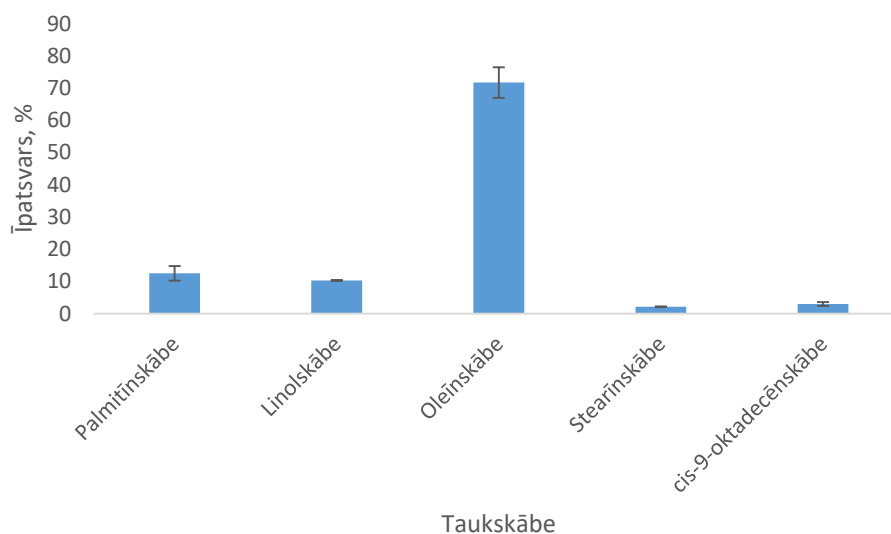
3.3. Eļļas saturs “*Bialobrzskie*” kaņepju sēklās



3.3. att. Taukskābju saturs “*Bialobrzskie*” kaņepju sēklās

“*Bialobrzskie*” kaņepju sēklās tika atrasts taukskābju saturs, kas uzskatāms par salīdzinoši neraksturīgu, jo tika atrasts vairāk linolskābes un mazāk oleīnskābes, salīdzinot ar literatūras apskatā atrastajiem daudzumiem (skatīt 3.3. att.). Atrasts, ka “*Bialobrzskie*” kaņepju sēklās ir salīdzinoši vidēja omega-6/omega-3 taukskābju attiecība: 3,6; lai gan šis daudzums neietilpst optimālās omega-6/omega-3 taukskābju robežās, to var uzskatīt par noderīgu pārtikas bagātinātāju. Var uzskatīt par labu īpašību to, ka “*Bialobrzskie*” kaņepju sēklās atrodas paaugstināts daudzums linolskābes un vidēji augsts daudzums α -linolēnskābes, kuras ir neaizstājamās taukskābes kuras cilvēka organisms nespēj sintezēt. Arī pazeminātais daudzums oleīnskābes var tikt uzskatīts par labu īpašību, jo augsts tās patēriņš tiek saistīts krūts vēža saslimšanas risku. Taukskābju saturs “*Bialobrzskie*” kaņepju eļļā apkopots 3.4 tabulā, kā arī salīdzināts ar SIA “*Iecavnieks*” kaņepju eļļas saturu 3.3 tabulā.

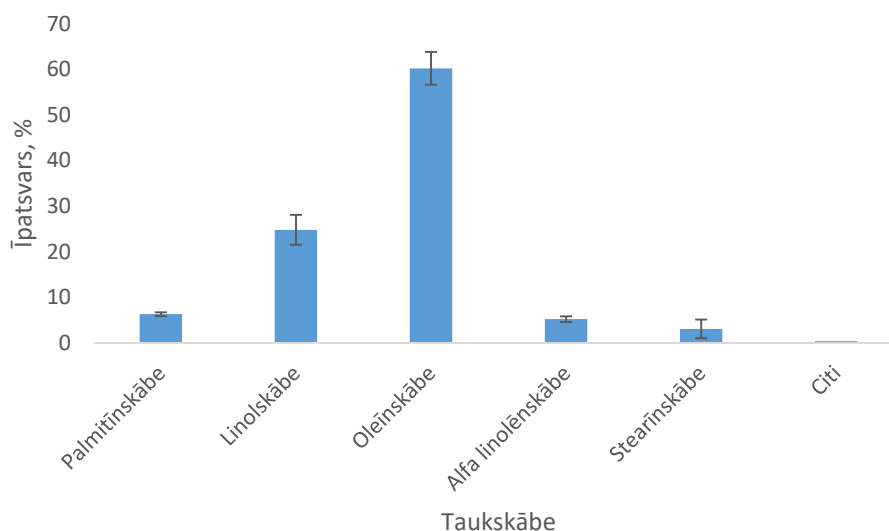
3.4. Eļļas saturs “Goccia d’oro” olīveļļā



3.4. att. Taukskābju saturs “Goccia d’oro” olīveļļā

“Goccia d’oro” olīveļļā tika atrasts taukskābju saturs, kas visu taukskābju gadījumā atrodas literatūras apskatā norādītajos daudzumos (skatīt 3.4. att.). Nav izdevies noteikt α -linolēnskābes daudzumu olīveļļā, kas, visticamāk, bija trokšņa līmenī. Līdz ar to, omega-6/omega-3 taukskābju attiecība šajā eļļā uzskatāma par ļoti augstu (>10); šis daudzums nesakrīt ar optimālo attiecību 1:1 līdz 2:1 un liek uzskatīt, ka “Goccia d’oro” olīveļļā nav ieteicama kā pārtikas papildinātājs, salīdzinoši augstā linolskābes daudzuma dēļ, ņemot vērā to, ka vidusmēra cilvēka uzturā tiek uzņemts pārāk augsts daudzums omega-6 taukskābju. Lai gan “Goccia d’oro” olīveļļā atrodas vērā ņemams daudzums linolskābes, tā satur ļoti mazu daudzumu α -linolēnskābes, no kurām abas ir neaizstājamās taukskābes. Taukskābju saturs “Goccia d’oro” olīveļļā eļļā apkopots 3.4 tabulā.

3.5. Eļļas saturs “*Rapsītis*” rapšu eļļā



3.5. att. Taukskābju saturs “*Rapsītis*” rapšu eļļā

Rapšu eļļā “*Rapsītis*” tika atrasts taukskābju saturs, kas visu taukskābju gadījumā atrodas literatūras apskatā atrastajos sastāva diapazonos (skatīt 3.5. att.). Atrasts, ka rapšu eļļā “*Rapsītis*” omega-6/omega-3 taukskābju attiecība ir 4,74. Šis daudzums nesakrīt ar optimālo attiecību 1:1 līdz 2:1, un, salīdzinoši augstās vērtības dēļ, rapšu eļļu “*Rapsītis*” nevar uzskatīt par noderīgu kā uztura bagātinātāju. Rapšu eļļa “*Rapsītis*” satur daudz oleīnskābes, ko var uzskatīt par problemātisku īpašību, jo tās pārmērīga lietošana spēj izraisīt krūts vēzi. Gan linolskābe, gan α -linolēnskābe ir pazeminātos daudzumos rapšu eļļā “*Rapsītis*”, kas viennozīmīgi uzskatāms par nevēlamu īpašību, jo abas no tām ir neaizstājamās taukskābes. Taukskābju saturs “*Rapsītis*” rapšu eļļā apkopots 3.4 tabulā, kā arī salīdzināts ar “*Forte*” rapšu eļļu tabulā 3.1.

3.6. Salīdzinājums starp svaigi spiestu un komerciāli iegādātu rapšu eļļu.

3.1 tabula

Salīdzinājums starp rapšu eļļām

Taukskābes nosaukums	Svaigi spiesta (%)	Rafinēta (%)
Palmitoleīnskābe	0,21	0,4
Palmitīnskābe	4,8 ± 1,0	5,9 ± 0,4
Linolskābe	19,2 ± 0,5	24,8 ± 3,3
Oleīnskābe	64,7 ± 2,4	60,2 ± 3,6
α- linolēnskābe	6,7 ± 0,1	5,2 ± 0,6
Stearīnskābe	2,6 ± 0,2	3,1 ± 2,0
Erukskābe	0,04	0
Citi	1,74	1,2
ω6/ ω3 attiecība	2,9	4,7

Salīdzinājums starp “*Forte*” rapšu eļļas un “*Rapsītis*” rapšu eļļas saturu parādīts 3.1. tabulā. Zinot, ka vairums komerciāli pieejamas eļļas tiek rafinētas un apstrādātas, tika veikts salīdzinājums starp svaigi spiestu rapšu eļļu, kas iegūta no Pūriņu “*Forte*” rapšu sēklām un rafinētu rapšu eļļu “*Rapsītis*”, kas tikusi apstrādāta. Tika noskaidrots, ka attiecībā pret taukskābēm rafinēšanas process īpaši neizmaina taukskābju saturu, tomēr ir manāms, ka rafinētā eļļa satur gan vairāk linolskābes, gan mazāk α-linolēnskābes, kas manāmi pasliktina omega6/omega3 taukskābju attiecību. Var secināt, ka rafinējot rapšu eļļu, netiek veikta tās hidrogenēšana, kā tas tiek veikts ar sojas eļļu. Svaigi spiesta, nerafinēta rapšu eļļa ir ar augstāku uzturvērtību. Zīmīgi, ka abos paraugos erukskābe konstatēta ļoti zemā līmenī vai nav konstatējama vispār. “*Forte*” rapšu eļļas saturs apkopots 3.4. tabulā, “*Rapsītis*” rapšu eļļas saturs apkopots 3.4. tabulā.

3.7. Salīdzinājums starp svaigi spiestu un komerciāli iegādātu linu eļļu.

3.2 tabula

Salīdzinājums starp linu eļļām

Taukskābes nosaukums	Svaigi spiesta (%)	Nerafinēta (%)
Palmitīnskābe	4,8 ± 1,2	5,7 ± 0,1
Linolskābe	31,6 ± 0,8	16,4 ± 0,1
Oleīnskābe	21,9 ± 2,4	~25,1 ± 0,2
α- linolēnskābe	42,0 ± 2,2	~48,2 ± 0,2
Stearīnskābe	5,1 ± 1,3	4,6 ± 0,1
Citi	2,5	0,1
ω6/ ω3 attiecība	0,8	~0,3

Taukskābju saturs “Vega 2” linsēklu eļļā un SIA “Iecavnieks” linsēklu eļļā salīdzināts 3.2. tabulā. Lai gan nerafinētas eļļas sastāvam, atkarībā no šķirnes, vajadzētu būt ļoti līdzīgam svaigi spiestu eļļu sastāvam, tā saturs var atšķirties no svaigi spiestas eļļas sastāva tādu iemeslu dēļ, kā iesaiņošanas procesa, iegūšanas apstākļu, saulesgaismas, u.c. Tādēļ tika veikts salīdzinājums starp svaigi spiestu “Vega 2” linsēklu eļļu un SIA “Iecavnieks” iegādātu nerafinētu linsēklu eļļu. Diemžēl saistībā ar to, ka MS sistēma bija darboties nespējīga, kā arī to, ka LJD sistēma nespēja pilnībā atdalīt α-linolēnskābi un oleīnskābi, neizdevās precīzi novērot šo taukskābju daudzumu komerciālajā eļļā, jo to signāli pārklājās. Pieņemot, ka oleīnskābes un α-linolēnskābes attiecība svaigi spiestā eļļā ir tuva šo taukskābju attiecībai komerciāli iegādātā, tika aprēķināta omega6/omega3 taukskābju attiecība 0,3. Balstoties uz šiem pieņēmumiem, tika noskaidrots, ka abu eļļu sastāvs būtiski atšķiras tikai pēc linolskābes īpatsvara, kas var būt šķirnes īpatnība. “Vega 2” linsēklu eļļas saturs apkopots 3.4. tabulā, SIA “Iecavnieks” linsēklu eļļas saturs apkopots 3.4. tabulā.

3.8. Salīdzinājums starp svaigi spiestu un komerciāli iegādātu kaņepju eļļu.

3.3 tabula

Salīdzinājums starp kaņepju eļļām

Taukskābes nosaukums	Svaigi spiesta (%)	Nerafinēta (%)
Palmitīnskābe	6,6 ± 1,0	6,2 ± 0,5
Linolskābe	43,1 ± 3,2	55,7 ± 0,5
Oleīnskābe	33,0 ± 1,3	~21,4 ± 0,2
α- linolēnskābe	12,0 ± 0,5	~7,9 ± 0,2
Stearīnskābe	2,9 ± 0,5	2,6 ± 0,5
Citi	0,9	6,2
ω6/ ω3 attiecība	3,6	~7,0

Taukskābju saturs “*Bialobrezskie*” kaņepju eļļā un SIA “*Iecavnieks*” kaņepju eļļā salīdzināts 3.3. tabulā. Lai gan nerafinētas eļļas sastāvam, atkarībā no šķirnes, vajadzētu būt ļoti līdzīgam svaigi spiestu eļļu sastāvam, tā saturs var atšķirties no svaigi spiestas eļļas sastāva vairāku iemeslu dēļ, piemēram, iesaiņošanas procesa, rūpnīcas apstākļu, saulesgaismas, u.c. Tādēļ tika veikts salīdzinājums starp svaigi spiestu “*Bialobrezskie*” kaņepju eļļu un SIA “*Iecavnieks*” ražotu nerafinētu kaņepju eļļu. Diemžēl, ņemot vērā ka MS sistēma bija darboties nespējīga, kā arī to, ka LJD sistēma nespēj pilnībā atdalīt α- linolēnskābi un oleīnskābi, neizdevās precīzi novērot šo taukskābju daudzumu komerciālajā eļļā, jo to signāli pārklājās. Pieņemot, ka oleīnskābes un α- linolēnskābes attiecība komerciāli iegādātā eļļā ir tuva šo taukskābju attiecībai komerciāli iegādātā produktā, tiek iegūta omega6/omega3 taukskābju attiecība vienāda ar 0,7. Jāsecina, ka neskatoties uz to, ka komerciāli iegādātā eļļa iegūta ar aukstās spiedes metodi, tās saturs stipri atšķiras no svaigi spiesta produkta. Tam par iemeslu var būt ķīmiskās reakcijas, kas maina omega6/omega3 taukskābju attiecību. “*Bialobrezskie*” kaņepju eļļas saturs atrodams 3.4. tabulā, SIA “*Iecavnieks*” kaņepju eļļas saturs apkopots 3.5. tabulā.

3.9. Salīdzinājums starp apskatītajām augu eļļām.

3.4. tabula

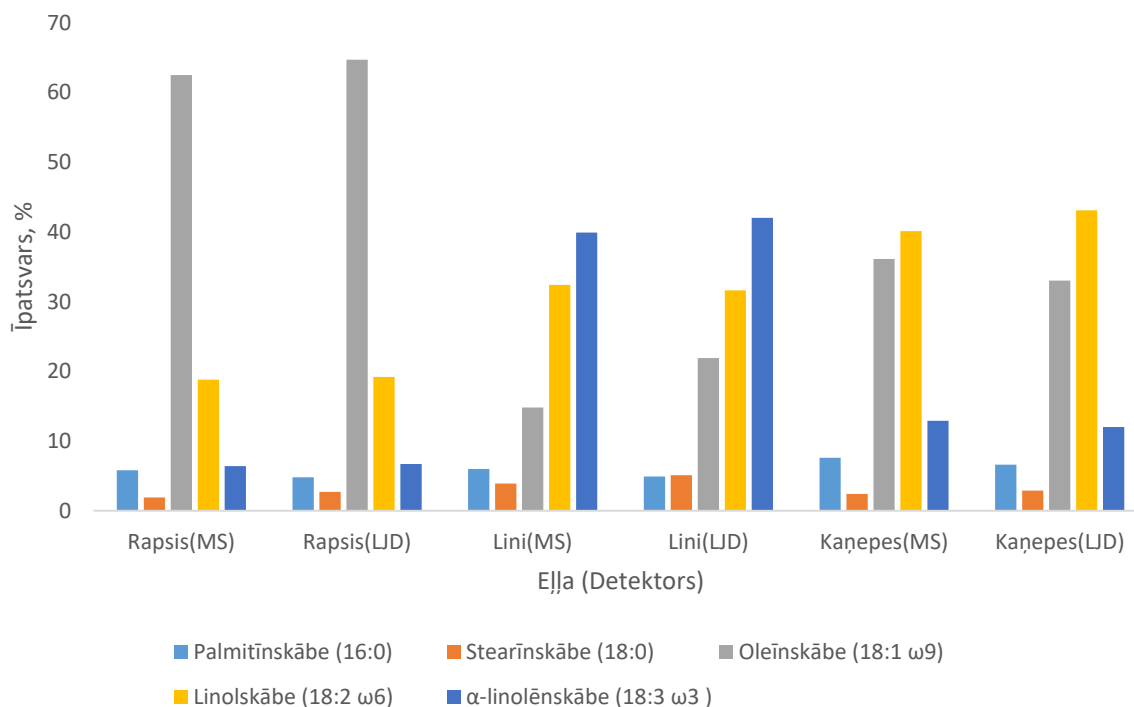
Taukskābju satura salīdzinājums pētītajām eļļām, pirmā daļa

Taukskābe	Eļļas saturs, %				
	Rapsis _(Forte)	Kaņepes _(Bialobrezskie)	Lini _(Vega2)	Olīvas _(komerc.)	Rapsis _(komerc.)
Palmitīnskābe (16:0)	4,8 ± 1,0	6,6 ± 1,0	4,8 ± 1,3	12,5 ± 2,3	5,9 ± 0,4
Stearīnskābe (18:0)	2,6 ± 0,2	2,9 ± 0,5	5,1 ± 1,3	2,2 ± 0,6	3,1 ± 2,0
Oleīnskābe (18:1 ω9)	64,7 ± 2,4	33,0 ± 1,3	21,9 ± 2,3	71,7 ± 4,8	60,2 ± 3,6
Linolskābe (18:2 ω6)	19,2 ± 0,5	43,1 ± 3,2	31,6 ± 0,8	10,3 ± 0,1	24,8 ± 3,3
γ-linolēnskābe (18:3 ω6)			0,12		
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	6,7 ± 0,1	12,0 ± 0,5	42,0 ± 2,3	<0,1	5,2 ± 2,0
Citas taukskābes	1,7	0,9	2,5	<0,1	0,4
Piesātinātās taukskābes	7,4 ± 0,6	9,5 ± 0,8	9,9 ± 1,3	14,7 ± 1,5	9,4 ± 1,2
Mononepiesātinātās taukskābes	64,7 ± 2,4	33,0 ± 1,3	21,9 ± 2,3	71,7 ± 4,8	60,2 ± 3,6
Polinepiesātinātās taukskābes	25,9 ± 0,3	55,1 ± 1,9	53,5 ± 1,5	10,3 ± 0,1	30,0 ± 2,7
ω6/ ω3 attiecība	2,9	3,6	0,7	>10	4,7

Taukskābju satura salīdzinājums pētītajām eļļām, otrā daļa

Taukskābe	Eļļas saturs, %			
	Kaņepes _(komerc)	Lini _(komerc)	Lini _(Priekuļi)	Lini _(Lirina)
Palmitīnskābe (16:0)	6,2 ± 0,5	5,7 ± 0,1	4,4 ± 0,1	5,0 ± 1,5
Stearīnskābe (18:0)	26 ± 0,5	4,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	4,4 ± 0,5
Oleīnskābe (18:1 ω9) un	~21,4 ± 0,3	~25,1 ± 0,2	~ 27,0 ± 0,1	~26,1 ± 3,5
Linolskābe (18:2 ω6)	55,7 ± 0,5	16,4 ± 0,1	12,4 ± 0,1	14,4 ± 0,1
α-linolēnskābe(18:3ω3)	~ 7,9 ± 0,2	~48,2 ± 0,2	~51,9 ± 0,1	~50,1 ± 3,5
Citas taukskābes	6,2 ± 0,3	<5,0	<5,0	<5,0
Piesātinātās taukskābes	32,2 ± 0,5	10,3 ± 0,1	8,6 ± 0,1	9,2 ± 0,1
Mononepiesātinātās taukskābes	~21,4 ± 0,3	~25,1 ± 0,2	~ 27,0 ± 0,1	~26,1 ± 3,5
Polinepiesātinātās taukskābes	63,6 ± 0,3	64,8 ± 0,2	64,5 ± 0,2	64,5 ± 1,8
ω6/ ω3 attiecība	~7,0	~0,3	~0,3	~0,3

3.10. Salīdzinājums starp HP-5 (LJD) un Rtx-1Ms (MS) iegūtajiem datiem



3.6. att. Salīdzinājums starp HP-5 (LJD) un Rtx-1Ms (MS) iegūtajiem datiem

Tika noskaidrots, ka darbu veicot ar HP-5 kolonnu (5%-fenil, 95%-dimetilpolisiloksāns, 30 m x 0,32 mm; $d_f = 0,25 \mu\text{m}$) kas savienota ar LJD un Rtx-1Ms kolonnu (100% dimetilpolisiloksāns, 30 m x 0,25 mm; $d_f = 0,25 \mu\text{m}$) kas savienota ar MS iegūti salīdzināmi rezultāti (skatīt 3.6 att.). Ņemot vērā kolonnu parametrus, kā arī izmantotos detektorus, domājams, ka abas darbā lietotās GH metodes ir pielietojamas taukskābju satura noteikšanai augu eļļās, lai gan darbam ar HP-5 kolonnu var būt nepieciešams iepriekš noskaidrot attiecību starp α -linolēnskābi un oleīnskābi. Noteiktais taukskābju daudzums lietojot HP-5 (LJD) un Rtx-1Ms (MS) rapšu eļļā “*Forté*”, linu eļļā “*Vega 2*” un kaņepju eļļā “*Bialobrezskie*” apkopots 3.6. tabulā.

Salīdzinājums starp HP-5 (LJD) un Rtx-1Ms (MS) iegūtajiem datiem

Taukskābe	Eļļas saturs, %					
	Rapsis _(MS)	Rapsis _(LJD)	Lini _(MS)	Lini _(LJD)	Kaņepes _(MS)	Kaņepes _(LJD)
Palmitīnskābe (16:0)	5,8	4,8 ± 1,0	6,0	4,9 ± 1,3	7,6	6,6 ± 1,1
Stearīnskābe (18:0)	1,9	2,7 ± 0,2	3,9	5,1 ± 1,3	2,4	2,9 ± 0,5
Oleīnskābe (18:1 ω9)	62,5	64,7 ± 2,4	14,8	21,9 ± 0,8	36,1	33,0 ± 1,2
Linolskābe (18:2 ω6)	18,8	19,2 ± 0,5	32,4	31,6 ± 0,8	40,1	43,1 ± 3,2
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	6,4	6,7 ± 0,1	39,9	42,0 ± 2,3	12,9	12,0 ± 0,5
Piesātinātās taukskābes	7,7	7,5 ± 0,6	9,9	10,0 ± 1,3	10,9	9,5 ± 0,8
Mononepiesātinātās taukskābes	62,5	64,7 ± 2,4	14,8	21,9 ± 0,8	36,1	33,0 ± 1,2
Polinepiesātinātās taukskābes	25,2	25,9 ± 0,3	72,3	73,6 ± 1,6	53,0	55,1 ± 1,9
ω6/ ω3 attiecība	2,9	2,9	0,8	0,7	3,6	3,6

SECINĀJUMI

1. Noteikti optimāli apstākļi taukskābju metilesteru iegūšanai un analīzei ar gāzu hromatogrāfijas – masspektrometrijas metodēm.
2. Tirdzniecībā pieejamo augu eļļu omega6/omega3 taukskābju attiecība, salīdzinājumā ar svaigi spiestām, ir pasliktinājusies no uzturvērtības viedokļa.
3. Svaigi spiestās augu eļļās ir viszemākā, proti, uztura bagātināšanai vispiemērotākā omega6/omega3 taukskābju satura attiecība.
4. No darbā izvērtētajām augu eļļām “Vega 2” linsēklu eļļa ir piemērotākā pārtikas bagātināšanas mērķiem.
5. *HP-5* GH kapilārā kolonna ir mazāk efektīva taukskābju atdalīšanai par *Restek Rtx-1Ms* kolonnu.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Rapšu audzēšanas stratēģija 2013.-2020. gadam http://www.losp.lv/sites/default/files/articles/attachments/publications/15.01.2013_-_2045/3444_rapsa_audzšanas_nozares_zinojums_2012_zsa.pdf (skatīts 25.04.17);
2. Ivanovs, S.; Stramkale, V. *Linu audzēšanas un novākšanas tehnoloģijas*. 2001; 18. — 20;
3. Kaņepju audzēšanai Latvijā ir nākotne <http://www.laukutikls.lv/nozares/uznemejdarbiba/raksti/kanepju-audzšanai-latvija-ir-nakotne> (skatīts 25.04.17);
4. Borovko, L. Vasaras rapša biologijas un audzēšanas tehnoloģijas elementu ietekme uz ražību un kvalitāti. *Ražība* 1998, 5, 2 – 3;
5. Edible oils and fats: levels of erucic acid <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=URISERV%3A121121> (skatīts 25.04.17);
6. Latvijā audzējamu kultūraugu audzēšanas vadlīnijas - lini (garšķiedras lini un eļļas lini) https://www.zm.gov.lv/public/files/CMS_Static_Page_Doc/00/00/00/66/71/ZM_rikojuma_8pielikums_lini.pdf (skatīts 25.04.17);
7. Mokyr, J., *The Oxford Encyclopedia of Economic History*, Oxford University Press, p.303, 2004;
8. Latvijas Zemkopības Ministrijas 2016. gada ziņojums par 2015. gadu. https://www.zm.gov.lv/public/files/CMS_Static_Page_Doc/00/00/00/90/30/fs-01userslinda.birinaDesktopAA2016_lauksaimniecibasgadazinojums.pdf (skatīts 25.04.17);
9. Anwar, F.; Latif, S.; Ashraf, M. Analytical Characterization of hemp (*Cannabis sativa*) seed oil from different agro-ecological zones of Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **2006**, 83, 323–329.;
10. Callaway, J.C. Hempseed as a nutritional resource: an overview. *Euphytica*, **2004**, 140, 65–72;
11. Grozījums likumā "Par narkotisko un psihotropo vielu un zāļu likumīgās aprites kārtību" <https://likumi.lv/doc.php?id=157640> (skatīts 25.04.17);
12. Nerafinētas augu eļļas <http://www.iecavnieks.lv/lv/produkti/nerafinetas-augu-ellas> (skatīts 25.04.17);

13. The Commission of the European Communities, Commission Directive 80/891/EEC of 25 July 1980 relating to the Community method of analysis for determining the erucic acid content in oils and fats intended to be used as such for human consumption and foodstuffs containing added oils or fats. *EurLex Official Journal*. 254, **1980**;
14. Lin, L.; Allemekinders, H.; Dansby, A.; Campbell, L.; Durance-Tod, S.; Berger, A.; Jones, PJ. Evidence of health benefits of canola oil. *Nutr. Rev.* **2013**, *71*, 370–85;
15. Vyriurska, O.; Janovskova, N.; Jakubik, T.; Spanik, I. Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography–Mass Spectrometry Analysis of Different Types of Vegetable Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **2015**, *6*, 783–790.
16. Vereshagin, A. G.; Novitskaya, G. V. The triglyceride composition of linseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **1965**, *42*, 970-974;
17. Dulf, F.V.; Bele, C.; Spinean, S.; Chedea, V.S.; Zegrean, G.; Socaciu, C. Comparative studies of fatty acid fingerprint from total lipids and phytosterol esters of some edible plant oils. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine*, **2006**, *62*, 225-230;
18. Rafinētas augu eļļas <http://www.iecavnieks.lv/lv/produkti/rafinetas-ellas> (skatīts 25.04.17);
19. Gunstone, F. D.; John, L. Harwood, and Albert J. Dijkstra. *The Lipid Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 2007. 3rd ed, pp. 345-367;
20. Kingsbury, K. J.; Paul, S.; Crossley, A.; Morgan, D. M.. The fatty acid composition of human depot fat. *Biochemichal journal*. **1961**, *78*, 541–550;
21. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases, WHO Technical Report Series 916, Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation, World Health Organization, Geneva, 2003;
22. Emken, E.A. Metabolism of dietary stearic acid relative to other fatty acids in human subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*. 60 (6): 1023S–1028S, **1994**;
23. Kokatnur, MG; Oalman, MC; Johnson, WD; Malcom, GT; Strong, JP. Fatty acid composition of human adipose tissue from two anatomical sites in a biracial community. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2198–205, **1979**;
24. Oliveira, AF; Chunha, DA; Ladriere, L; In vitro use of free fatty acids bound to albumin: A comparison of protocols. *BioFeedback. BioTechniques*. **2015**, *58*, 228–33;
25. Food sources of oleic acid https://epi.grants.cancer.gov/diet/foodsources/fatty_acids/table1.html (skatīts 25.04.17);

26. You Can Control Your Cholesterol: A Guide to Low-Cholesterol Living. Merck & Co. Inc. **2009**;
27. Teres, S.; Barcelo-Coblijn, G.; Benet, M.; Alvarez, R.; Bressani, R.; Halver, J. E.; Escriba, P. V. Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil, *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **2008**, *105*, 13811–13816;
28. Martin-Moreno, Jose M.; Gorgojo, Lydia; Banegas, Jose R.; Rodriguez-Artalejo, Fernando; Fernandez-Rodriguez, Juan C.; Maisonneuve, Patrick; Boyle, Peter. Dietary fat, olive oil intake and breast cancer risk. *International Journal of Cancer*. **1994**, *58*, 774–780;
29. Julien, M; Hoeffel, JM; Flick, MR. Oleic acid lung injury in sheep. *Journal of Applied Physiology*. **1986**, *60*, 433–40;
30. Burr, G.O.; Burr, M.M.; Miller, E. On the nature and role of the fatty acids essential in nutrition. *J. Biol. Chem*. **1930**, *86*, 586-621;
31. Nutrient Data Laboratory Home Page, USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 20. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. **2007**;
32. Letawe, C; Boone, M; Pierard, GE. Digital image analysis of the effect of topically applied linoleic acid on acne microcomedones. *Clinical & Experimental Dermatology*. **1998**, *23*, 56–58;
33. Pan, A.; Chen, M.; Chowdhury, R. α -Linolenic acid and risk of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* **2012**, *96*, 1262–73;
34. Ramon, JM; Bou, R; Romea, S; Alkiza, ME; Jacas, M; Ribes, J; Oromi, J. Dietary fat intake and prostate cancer risk: a case-control study in Spain. *Cancer causes & control*. **2000**, *11*, 679–85;
35. Koralek, D.O.; Peters, U.; Andriole, G. A prospective study of dietary α -linolenic acid and the risk of prostate cancer (United States). *Cancer Causes & Control*. **2006**, *17*, 783–791;
36. Richmond, C. David Horrobin. *BMJ*. **2003**, *326*, 885;
37. Luger, CL. *Food Safety and Foodborne Toxicants. Chapter 14 in Hayes' Principles and Methods of Toxicology, Sixth Edition*; Hayes, A.W.; Kruger, C.L. CRC Press, **2003**, 621-665;
38. Food Standards Australia New Zealand. Erucic acid in food: A Toxicological Review and Risk Assessment Technical report series No. 21, **2003**;

39. Dhellot, J.R.; Matouba, E.; Maloumbi, M.G.; Nzikou, J.M.; Safou, N. D. G.; Linder, M.; Desobry, S.; Parmentier, M. Extraction, chemical composition and nutritional characterization of vegetable oils: case of *Amaranthus hybridus* (var 1 and 2) of Congo Brazzaville. *African journal of biotechnology*, **2006**, *5*, 1095-1101;
40. Soxhlet, F. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Dingler's Polytechnisches Journal*. **1879**, *232*, 461–465;
41. Yong, L.; Watkins, B.A. Analysis of fatty acids in food lipids. *Current protocols in food analytical chemistry*, **2001**, *121*, 161;
42. Bligh, E.G.; Dyer, WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol*. **1959**, *37*, 911–7;
43. Furusawa, T.; Watanabe, M.; Kadota, R.; Matsumoto, T.; Sato, M.; Suzuki, N. Methanolysis of rapeseed oil to fatty acid methyl esters using microencapsulated CaO and TiO₂-supported chromium oxide under light irradiation. *Fuel Processing Technology*. **2015**, *140*, 125-131;
44. Biljana, R.; Vesna, V.B.; Miroslav, M.N.; Selma, C.; Zorica, N.B.; Comparative review of the nutritional value of cold-pressed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed oil of different origins. *Hemijska industrija*. **2016**, *70*, 59-65;
45. Bansal, S.; Durrett, T.P.; Rapid Quantification of Low-Viscosity Acetyl-Triacylglycerols Using Electrospray Ionization Mass Spectrometry. *Lipids*. **2016**, *51*, 11;
46. Mikuma, T.; Kaneko, T. A quick discrimination of vegetable oil by solid-phase microextraction method. *Forensic science international*. **2010**, *198*, 79–84;
47. Derivatization of Fatty Acids to FAMES <https://www.sigmaaldrich.com/analytical-chromatography/analytical-products.html?TablePage=105120181> (skatīts 25.04.17);
48. Ichihara, K.; Fukubayashi, Y.; Preparation of fatty acid methyl esters for gas-liquid chromatography. *Journal of lipid research*. **2010**, *51*, 635-640;
49. Stoll, A. Populations maintaining historic omega-6 to omega-3 ratios (approximately 1 to 1) are protected from many of the scourges of the modern age. *The Omega-3 Connection*. **2001**, *18*, 43;
50. Tilley, S.; Coffman, T.; Koller, B. Mixed messages: modulation of inflammation and immune responses by prostaglandins and thromboxanes. *Journal of Clinical Investigation*. **2001**, *108*, 15–23;
51. Omega-3: Omega-6 balance <http://www.gbhealthwatch.com/Science-Omega3-Omega6.php> (skatīts 25.04.17);

52. Simopoulos, AP. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. **2002**, *56*, 365–79.;
53. Christie, W.W. Preparation of Ester Derivatives of Fatty Acids for Chromatographic Analysis. *Advances in Lipid Methodology* **1993**, *2*, 69-111;
54. Sobrado, L.A.; Freije-Carrelo, L.; Moldovan, M.; Encinar, J.R.; Alonso, I.G.; Comparison of gas chromatography-combustion-mass spectrometry and gas chromatography-flame ionization detector for the determination of fatty acid methyl esters in biodiesel without specific standards. *Journal of Chromatography A*. **2016**, *1457*, 134-143;
55. Fan, H.; Smuts, J.; Bai, L.; Walsh, P.; Armstrong, D.W.; Schug, K.A. Gas chromatography–vacuum ultraviolet spectroscopy for analysis of fatty acid methyl esters. *Food Chemistry*. **2015**, *194*, 265-271;
56. Gao, F.; Yang, S.; Birch, J. Physicochemical characteristics, fatty acid positional distribution and triglyceride composition in oil extracted from carrot seeds using supercritical CO₂. *Journal of Food Composition and Analysis*. **2015**, *45*, 26-33;
57. Zhang, M.; Yang, X.; Zhao, H.T.; Dong, A.J.; Wang, J.; Liu, G.Y.; Wang, P.; Chenga, C.L.; Zhang, H. A quick method for routine analysis of C18 trans fatty acids in non-hydrogenated edible vegetable oils by gas chromatography-mass spectrometry. *Food Control*. **2014**, *57*, 293-301;
58. Mannion, D.T.; Furey, A.; Kilcawley, K.N. Comparison and validation of 2 analytical methods for the determination of free fatty acids in dairy products by gas chromatography with flame ionization detection. *Journal of Dairy Science*. **2016**, *99*, 5047-5063;
59. Vyviurska, O.; Jánošková, N.; Jakubík, T.; Špánik, T. Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography–Mass Spectrometry Analysis of Different Types of Vegetable Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. **2015**, *92*, 783-790;
60. Orsavova, J.; Misurcova, L.; Ambrozova, J.V.; Vicha, R.; Mlcek, J. Fatty Acids Composition of Vegetable Oils and Its Contribution to Dietary Energy Intake and Dependence of Cardiovascular Mortality on Dietary Intake of Fatty Acids. *International Journal of Molecular Sciences*. **2015**, *16*, 12871-12890;
61. Carrier Gases for GC http://www.restek.com/Technical-Resources/Technical-Library/Editorial/editorial_A017 (skat. 09.05.17);

- 62.** Hydrogen: A Carrier Gas Alternative to Helium
<http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/reporter-us/hydrogen-a-carrier.html> (skat. 09.05.17);
- 63.** McNair, H.M.; Miller, J.M. *Basic gas chromatography. Second edition.* New York, A Wiley interscience publication, 1997, 193 p.;
- 64.** Choosing the right column <http://www.chem.agilent.com/cag/cabu/gccolchoose.htm>
(skatits 09.05.17);
- 65.** GC Analyses of FAMES by Boiling Point Elution
<http://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/reporter-eu/gc-analyses-of-fames.html> (skat 09.05.17).

Pielikumi

1. pielikums

“Forte” rapšu sēklu pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula

Izdalīšanas laiks (min.)	m/z	Laukums	Laukums, %	Augstums	Augstums, %	Atbilstošā taukskābe, līdzība
14.423	TIC	3.55E+05	0.21	2.31E+05	0.25	cis-9-heksadecēnskābe, 89%
14.674	TIC	9.91E+06	5.75	6.13E+06	6.75	Palmitīnskābe, 97%
15.507	TIC	5.79E+04	0.03	4.04E+04	0.04	cis-7-heksadecēnskābe, 96%
16.558	TIC	3.23E+07	18.76	1.73E+07	19.07	Linoskābe, 84%
16.608	TIC	1.11E+07	6.44	6.01E+06	6.62	Alfa linolēnskābe, 94%
16.667	TIC	1.08E+08	62.49	5.53E+07	60.87	Oleīnskābe, 96%
16.999	TIC	4.89E+06	1.94	2.97E+06	1.86	Stearīnskābe, 97%
19.191	TIC	3.35E+06	0.73	1.69E+06	0.63	cis-11-eikozēnskābe, 94%
19.567	TIC	4.46E+05	0.4	1.80E+05	0.3	Heptakozēnskābe, 94%
21.882	TIC	1.26E+06	0.04	5.76E+05	0.03	Erukskābe, 88%
22.258	TIC	6.93E+05	0.09	2.68E+05	0.08	Behēnskābe, 87%
24.944	TIC	6.30E+04	0.02	2.74E+04	0.03	Lignocerīnskābe, 73%

“Vega 2” linu sēklu pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula

Izdalīšanas laiks (min.)	m/z	Laukums	Laukums, %	Augstums	Augstums, %	Atbilstošā taukskābe, līdzība
12.563	TIC	1.20E+05	0.05	7.69E+04	0.06	Palmitoleīnskābe, 91%
14.674	TIC	1.50E+07	5.99	9.29E+06	7.27	Palmitīnskābe, 94%
16.392	TIC	8.99E+05	0.36	1.45E+06	0.43	Skābe ar 290 molmasu, nav atrasta datubāzē
16.565	TIC	8.08E+07	32.36	5.51E+05	28.31	Linolskābe, 94%
16.62	TIC	9.96E+07	39.85	3.62E+07	40.63	Alfa linolēnskābe, 88%
16.661	TIC	3.70E+07	14.82	5.19E+07	16.94	Oleīnskābe, 90%
16.723	TIC	1.93E+06	0.77	2.16E+07	0.79	cis-6-oktadecenskābe, 90%
16.998	TIC	9.68E+06	3.88	1.02E+06	3.83	Stearīnskābe, 92%
18.698	TIC	2.99E+05	0.12	4.89E+06	0.1	gamma linolēnskābe, 92%
19.189	TIC	4.85E+05	0.19	1.24E+05	0.15	cis-11-eikozenskābe, 92%
19.567	TIC	9.07E+05	0.36	1.98E+05	0.25	Eikozānskābe, 91%
22.254	TIC	2.50E+05	0.1	3.23E+05	0.07	Dokozānskābe, r 88%
24.951	TIC	1.11E+05	0.04	9.22E+04	0.03	Tetrakozānskābe, 84%

Rapšu eļļas “*Rapsītis*” pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula

Izdalīšanas laiks (min.)	m/z	Laukums	Laukums, %	Augstums	Augstums, %	Atbilstošā taukskābe, līdzība
12.563	TIC	5.15E+05	0.33	3.28E+05	0.29	Tridekānskābe, 85%
14.424	TIC	5.53E+05	0.35	2.98E+05	0.26	Palmitoleīnskābe, 99%
14.674	TIC	3.84E+07	5.93	2.35E+07	20.83	Palmitīnskābe, 92%
16.558	TIC	1.04E+08	18.69	8.21E+07	19.07	Linolskābe, 84%
16.564	TIC	1.08E+07	66.88	6.12E+06	72.7	Oleīnskābe, 94%
16.608	TIC	2.37E+05	5.81	1.16E+05	6.62	Alfa linolēnskābe, 94%
16.998	TIC	5.21E+05	1.14	1.61E+05	5.42	Stearīnskābe, 91%
19.191	TIC	6.08E+05	0.15	2.94E+05	0.1	11-eikozenskābe, 85%
19.57	TIC	5.15E+05	0.33	3.28E+05	0.14	Heptakozānskābe, 85%
22.252	TIC	5.53E+05	0.39	2.98E+05	0.26	Dokozānskābe, 88%

Olīveļļas “Goccio d’oro” pilna taukskābju metilesteru kvantitatīvo datu tabula

Izdalīšanas laiks (min.)	m/z	Laukums	Laukums, %	Augstums	Augstums, %	Atbilstošā taukskābe, līdžība
14.42	TIC	2.90E+06	1.01	1.82E+06	1.26	Palmitoleīnskābe, 97%
14.673	TIC	4.84E+07	16.8	3.08E+07	21.42	Palmitīnskābe, 94%
16.554	TIC	2.97E+07	10.3	1.43E+07	9.96	Linolskābe, 94%
16.671	TIC	1.94E+08	67.24	8.93E+07	62.06	Oleīnskābe, 95%
16.723	TIC	5.97E+06	2.07	3.74E+06	2.6	cis-9-oktadecēnskābe, 96%
16.995	TIC	7.43E+06	2.58	3.88E+06	2.7	Stearīnskābe, 96%

“Bialobrzeskie” kaņepju sēklu pilna kvantitatīva taukskābju metilesteru tabula

Izdalīšanas laiks (min.)	m/z	Laukums	Laukums, %	Augstums	Augstums, %	Atbilstošā taukskābe, līdzība
14.67	TIC	1.77E+07	7.61	1.06E+07	8.66	Palmitīnskābe, 94%
16.559	TIC	3.24E+06	40.1	1.35E+06	36.95	Linolskābe, 95%
16.607	TIC	9.33E+07	11.47	4.54E+07	12.42	alfa linolēnskābe, 96%
16.662	TIC	2.67E+07	34.15	1.52E+07	35.65	Oleīnskābe, 92%
16.72	TIC	7.95E+07	1.94	4.38E+07	2.01	Oleīnskābe, 89%
16.993	TIC	4.51E+06	2.43	2.46E+06	2.49	Stearīnskābe, 92%
19.186	TIC	5.65E+06	0.43	3.06E+06	0.39	cis-12-eikozēnskābe, 87%
19.561	TIC	1.00E+06	0.48	4.73E+05	0.33	Arahīnskābe, 96%

Analizēto eļļu dati, iegūti ar LJD

1) “Priekuļi” linu eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums				Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.	4.			
Palmitīnskābe (16:0)	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	0,1	0,1
Linolskābe (18:2 ω6)	12,4	12,5	12,4	12,4	12,4	0,1	0,1
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	51,9	51,9	52,0	51,9	51,9	0,1	0,1

2) “Iecavnieks” linu eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums				Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.	4.			
Palmitīnskābe (16:0)	5,8	5,8	5,7	5,8	5,8	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	4,6	4,5	4,6	4,6	4,6	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	25,1	25,0	25,1	25,1	25,1	0,1	0,1
Linolskābe (18:2 ω6)	16,4	16,4	16,3	16,4	16,4	0,1	0,1
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2	0,1	0,1

3) “Lirina” linu eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums			Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.			
Palmitīnskābe (16:0)	5,0	4,9	5,0	5,0	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	4,3	4,3	4,3	4,3	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	26,2	26,2	26,2	26,2	0,1	0,1
Linolskābe (18:2 ω6)	14,3	14,3	14,3	16,4	0,1	0,1
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	50,3	50,2	50,3	50,3	0,1	0,1

4) “*Iecavnieks*” kaņepju eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums			Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.			
Palmitīnskābe (16:0)	6,0	6,3	6,3	6,2	0,2	0,5
Stearīnskābe (18:0)	2,8	2,5	2,5	2,6	0,2	0,5
Oleīnskābe (18:1 ω9)	21,4	21,6	21,5	21,5	0,2	0,3
Linolskābe (18:2 ω6)	56,0	55,6	5,7	55,7	0,2	0,4
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	10,6	10,7	10,7	10,6	0,2	0,3

5) “*Goccia d'oro*” olīveļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums			Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.			
Palmitīnskābe (16:0)	11,1	11,1	11,1	11,1	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	3,2	3,2	3,2	3,2	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	73,1	73,3	73,3	73,2	0,1	0,2
Linolskābe (18:2 ω6)	10,4	10,3	10,2	10,3	0,1	0,2

6) “*Rapsītis*” rapšu eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums			Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.			
Palmitīnskābe (16:0)	6,4	6,5	6,4	6,4	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	3,7	3,7	3,7	3,7	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	57,9	58,0	58,0	58,0	0,1	0,2
Linolskābe (18:2 ω6)	26,8	26,8	26,8	26,8	0,1	0,1
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	5,0	5,0	5,1	5,0	0,1	0,1

7) “*Bialobrezskie*” kaņepju eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums			Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.			
Palmitīnskābe (16:0)	6,3	6,2	6,4	6,3	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	3,1	3,1	3,1	3,1	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	32,4	32,4	32,5	32,4	0,1	0,1
Linolskābe (18:2 ω6)	44,1	44,1	44,1	44,1	0,1	0,1
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	11,9	11,9	11,9	11,9	0,1	0,1

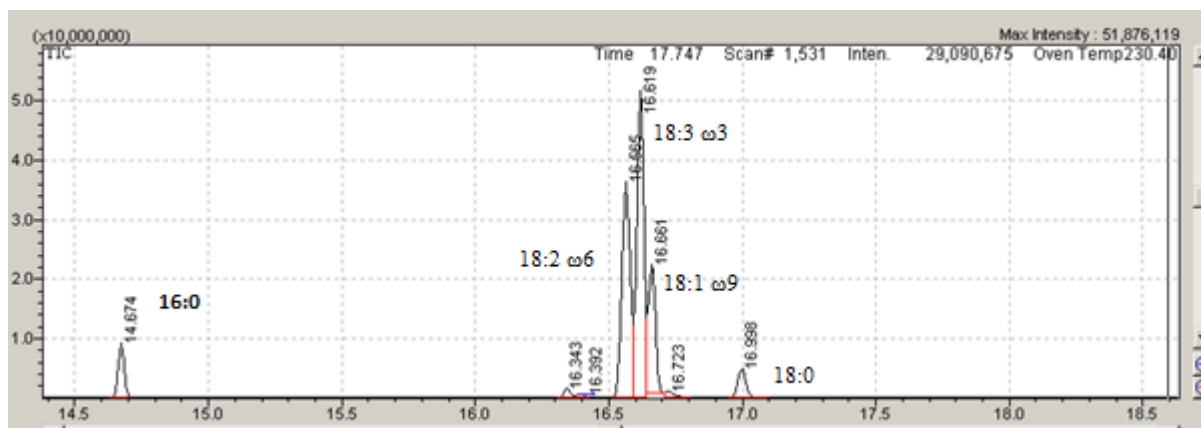
8) “Vega 2” linsēklu eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums			Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.			
Palmitīnskābe (16:0)	4,4	4,4	4,4	4,4	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	5,5	5,5	5,5	5,5	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	15,9	15,7	15,8	15,8	0,1	0,2
Linolskābe (18:2 ω6)	31,4	31,3	31,4	31,4	0,1	0,1
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	42,8	42,8	42,8	42,8	0,1	0,1

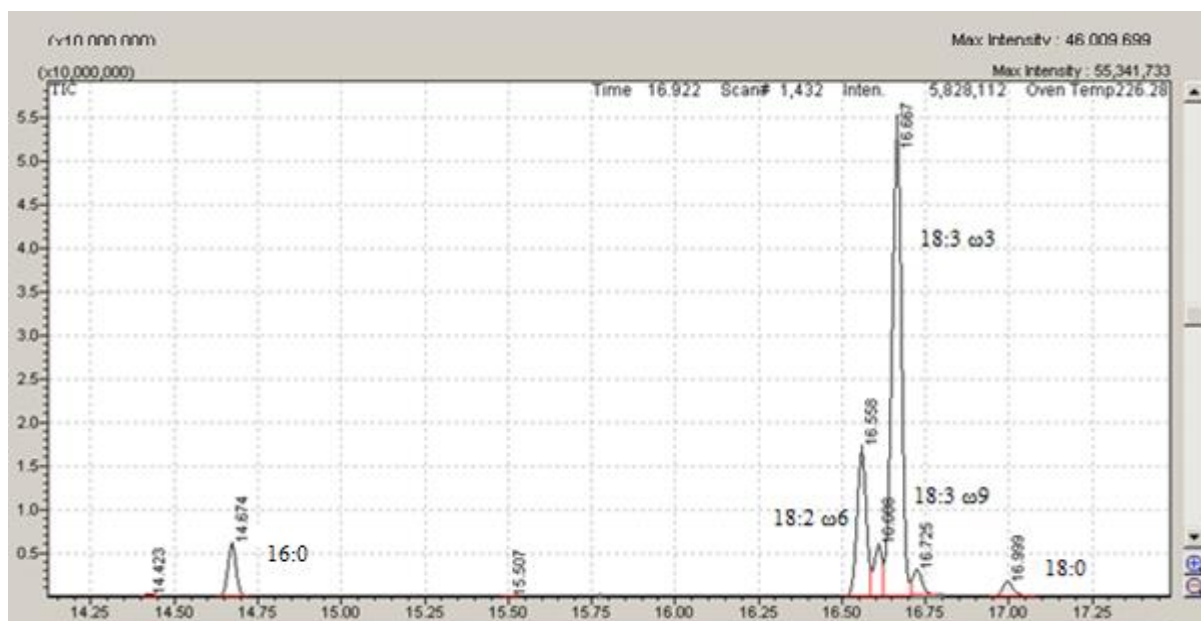
9) “Forte” rapšu eļļas analīzes iegūtie rezultāti

Taukskābe	Atkārtojums			Vidējais	S _n	DI
	1.	2.	3.			
Palmitīnskābe (16:0)	4,5	4,4	4,5	4,5	0,1	0,1
Stearīnskābe (18:0)	2,6	2,6	2,6	2,6	0,1	0,1
Oleīnskābe (18:1 ω9)	65,0	65,0	65,0	65,0	0,1	0,2
Linolskābe (18:2 ω6)	19,4	19,3	19,3	19,3	0,1	0,2
α-linolēnskābe (18:3 ω3)	7,2	7,2	7,2	7,3	0,1	0,1

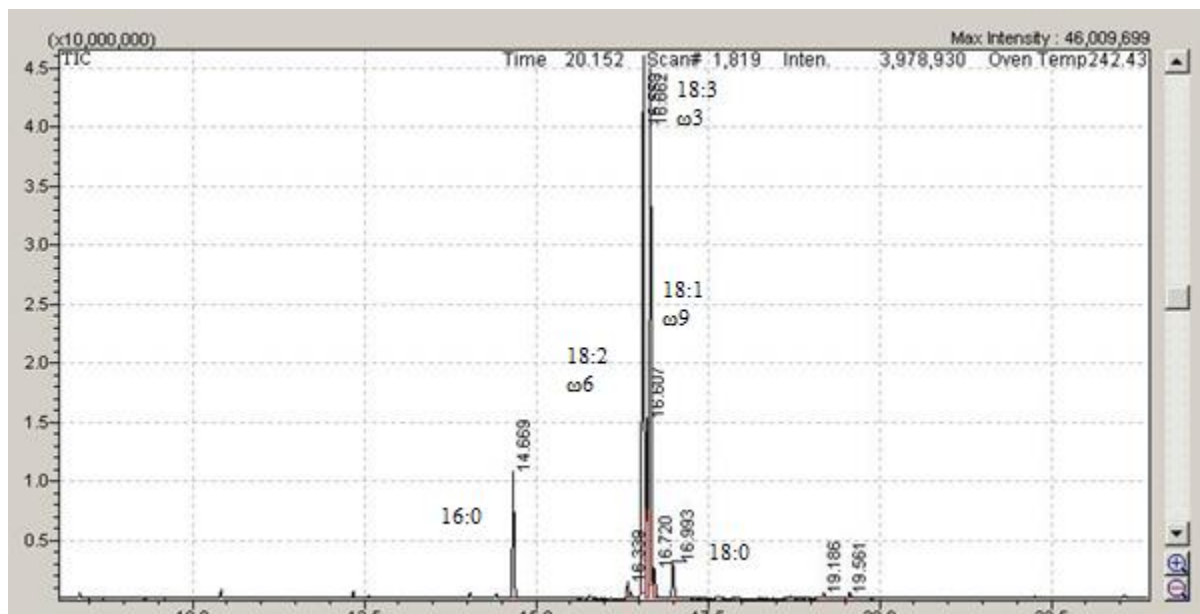
“Vega 2” linu sēklu taukskābju hromatogramma (MS)



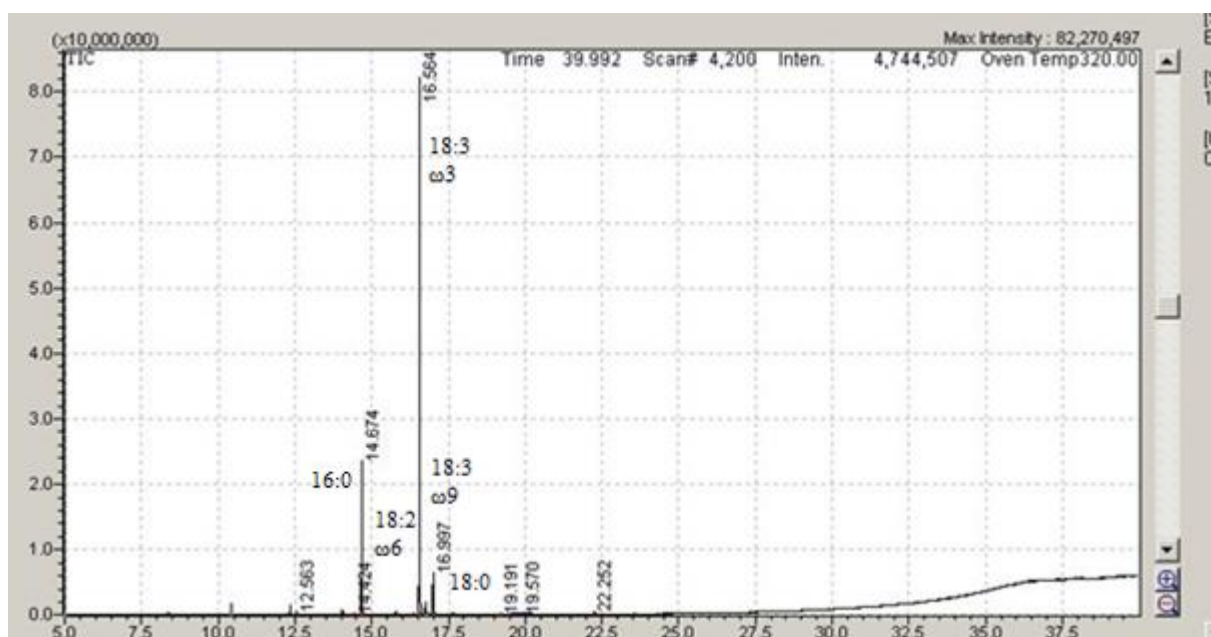
“Forte” rapšu sēklu taukskābju hromatogramma (MS)



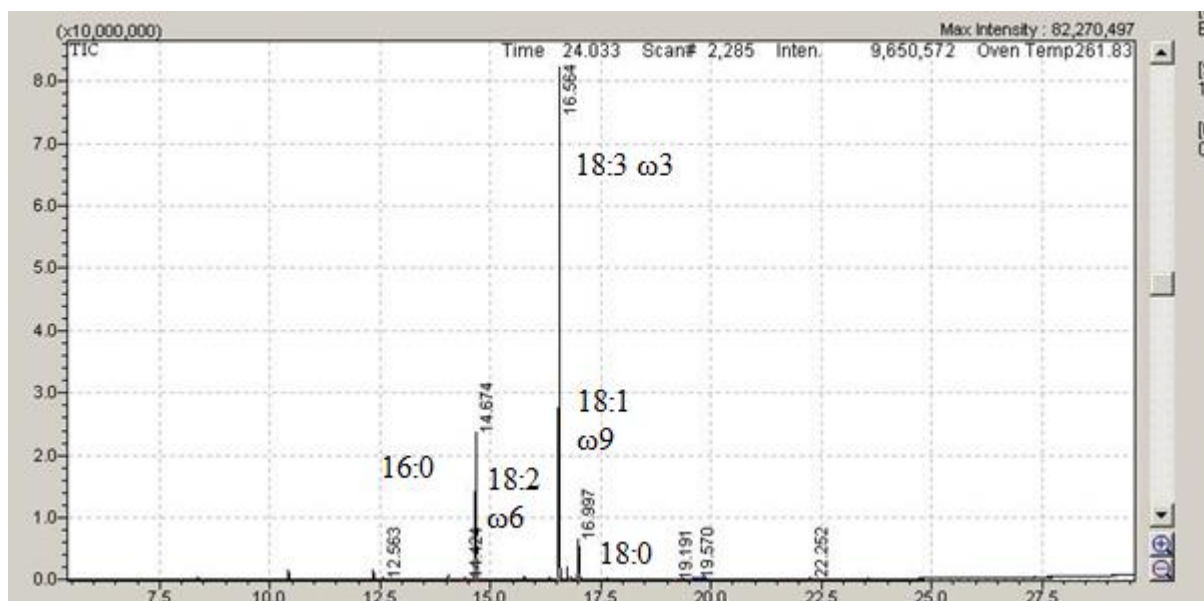
“Pūriņu” kaņepju sēklu taukskābju hromatogramma (MS)



Rapšu eļļas “Rapsītis” taukskābju hromatogramma (MS)

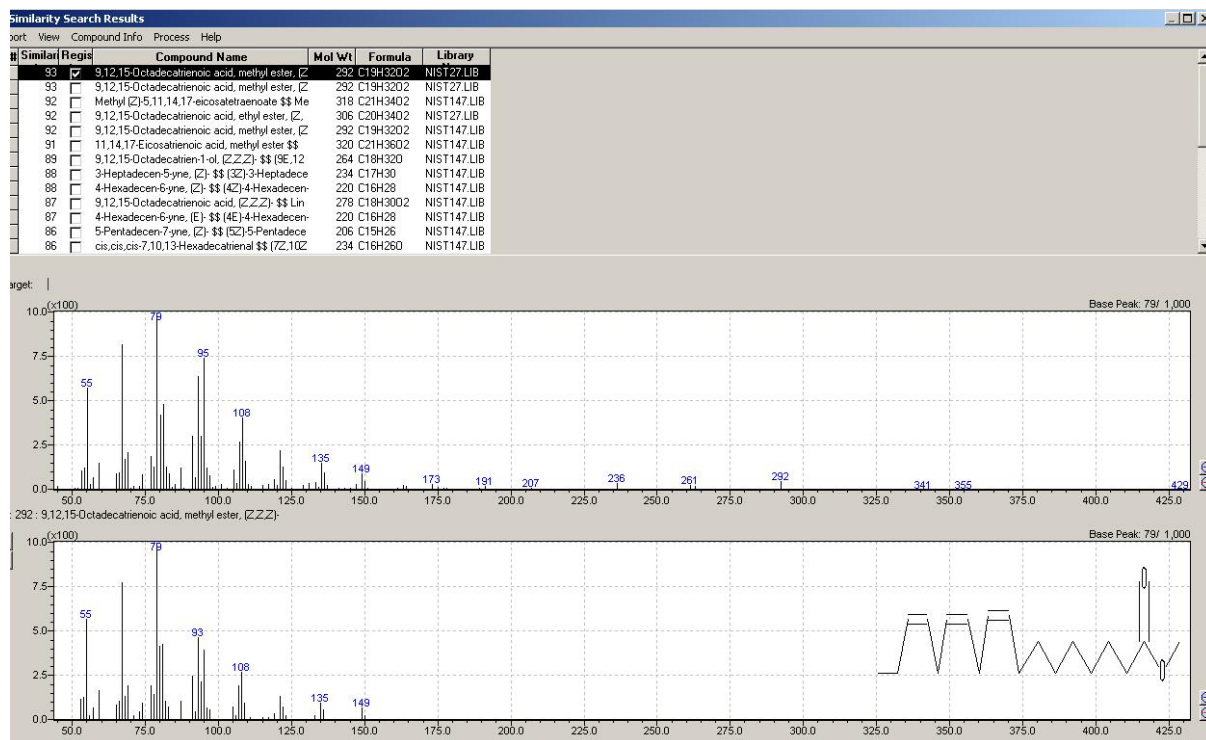


Olīveļļas “Goccio d’oro” taukskābju hromatogramma (MS)

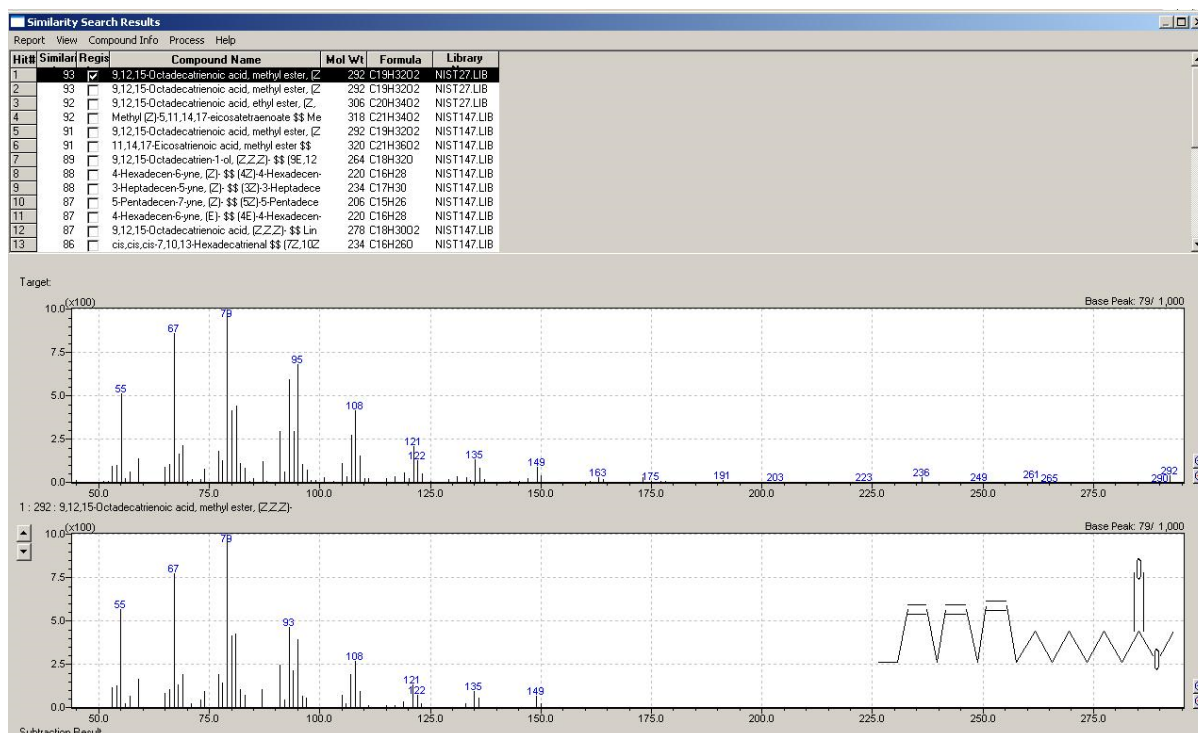


Omega-3 taukskābes noteikšana “Vega 2” linu sēklās, lietojot datubāzi

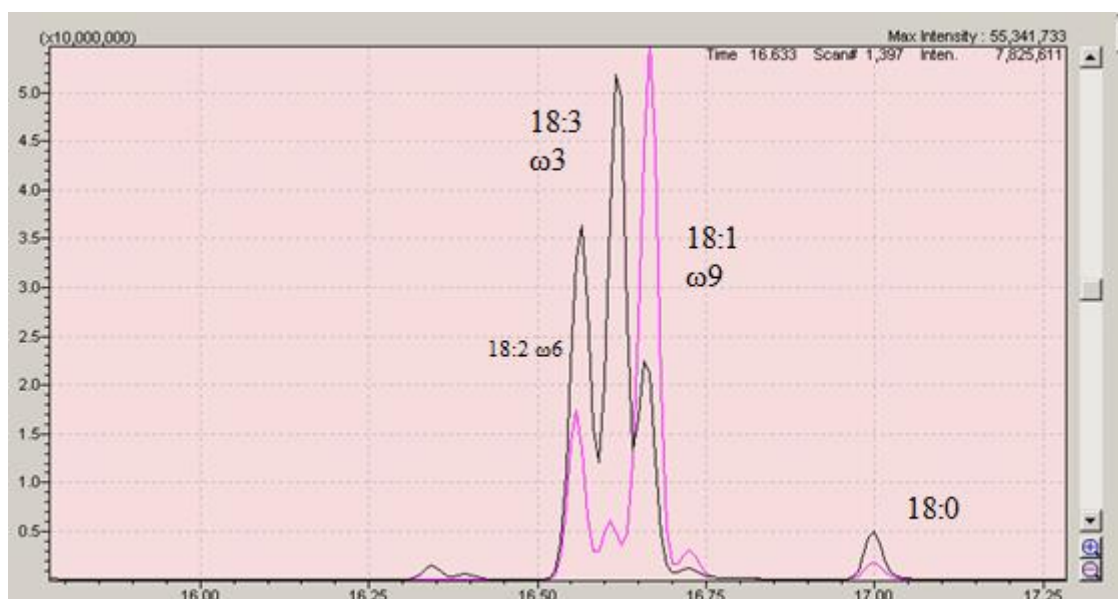
NIST147



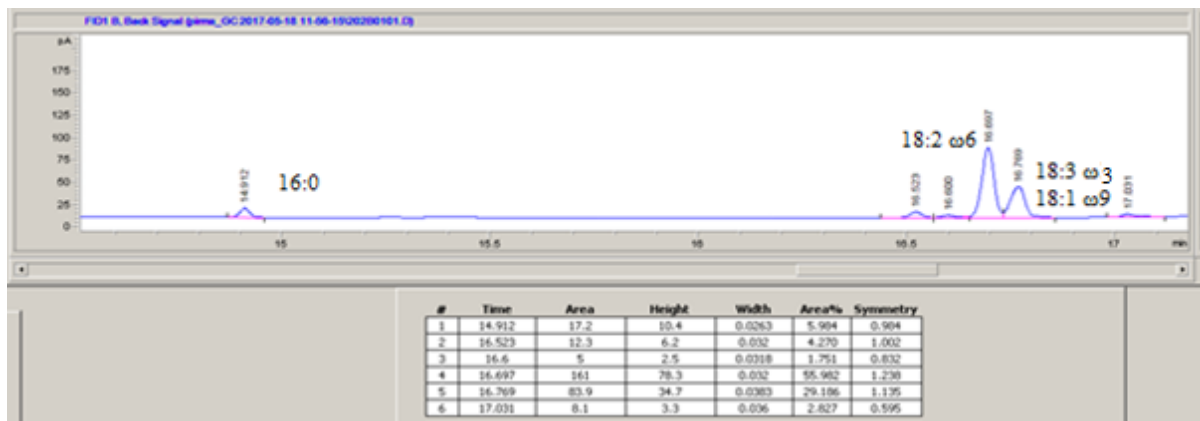
Omega-3 taukskābes noteikšana “Forte” rapšu sēklās lietojot datubāzi NIST 147



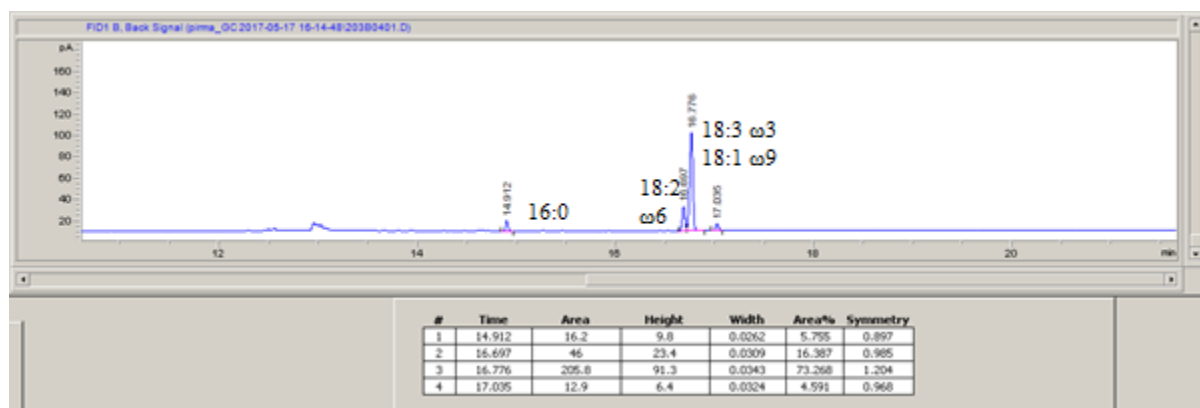
“Vega 2” linu sēklu un “Forte” rapšu sēklu eļļu hromatogrammu salīdzinājums (violetā krāsā iezīmēts rapsis, melnā lini)



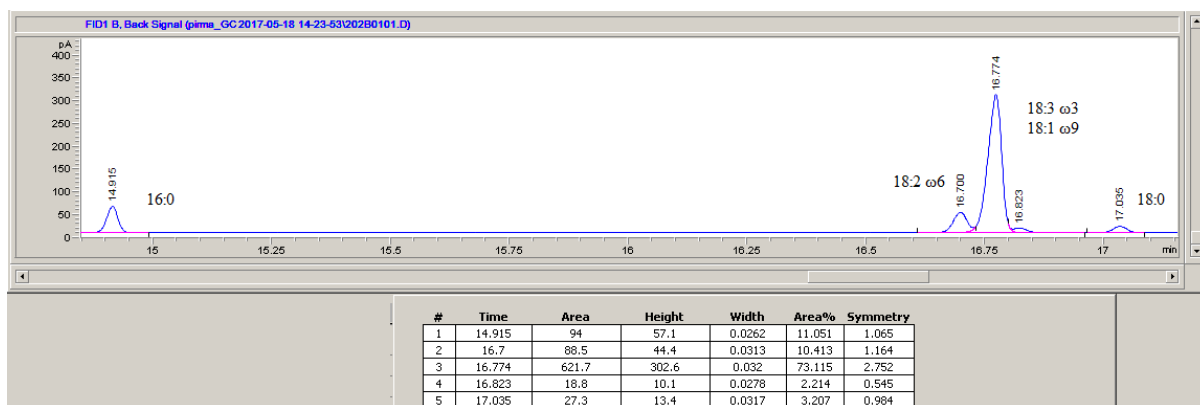
“Iecavnieks” kaņepju eļļas hromatogramma (LJD)



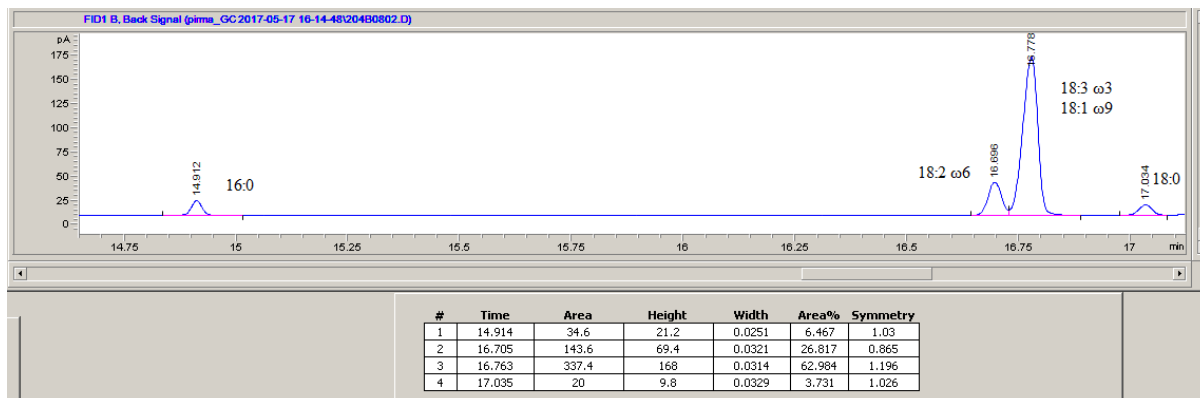
“Iecavnieks” linu eļļas hromatogramma (LJD)



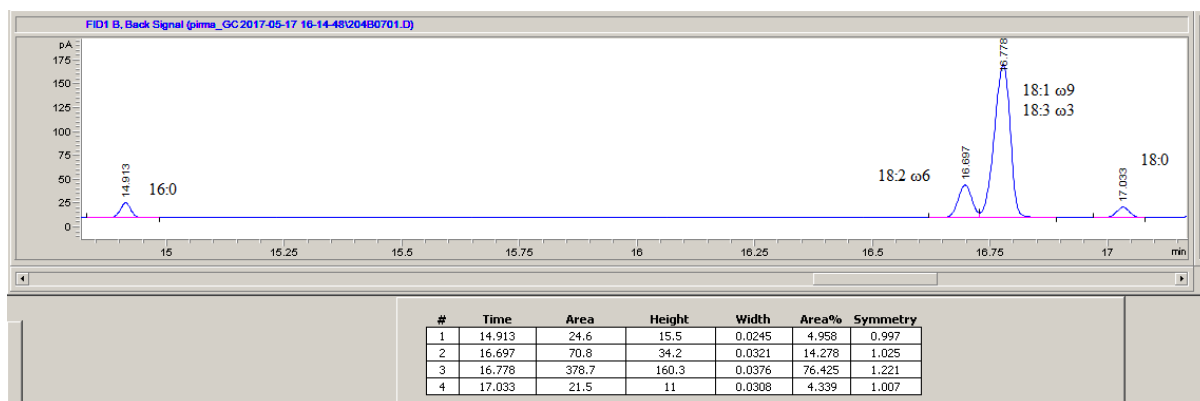
“Goccia d'oro” olīveļļas hromatogramma (LJD)



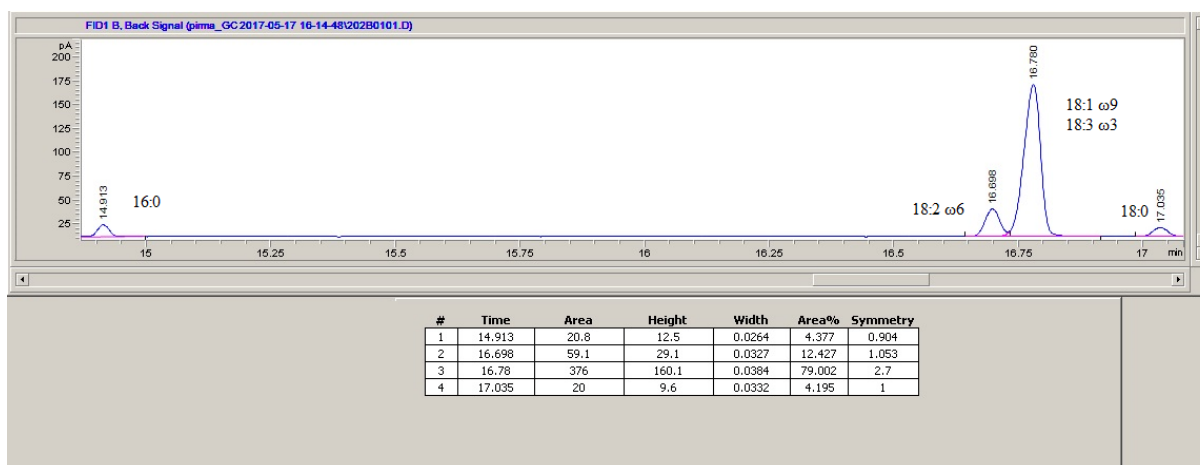
“Rapsītis” rapšu eļļas hromatogramma (LJD)



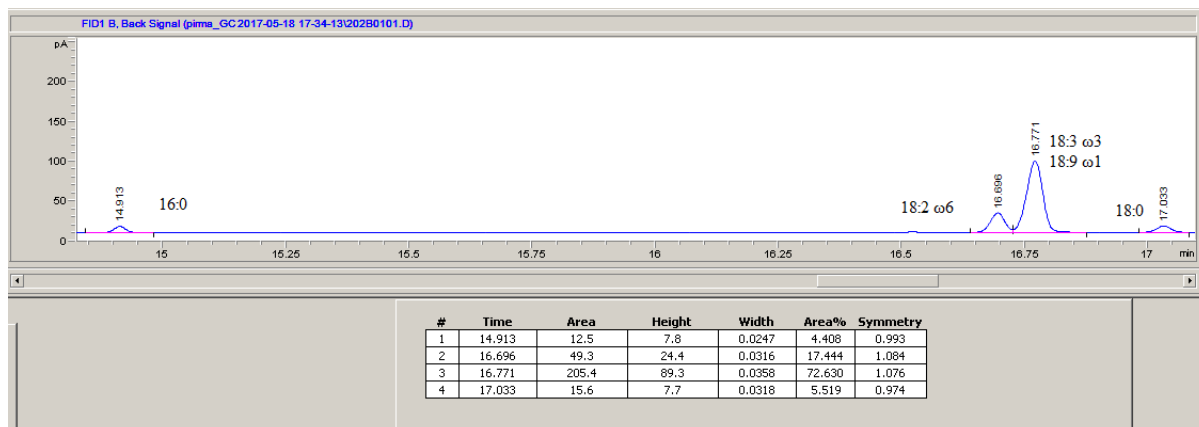
“Lirina” linu eļļas hromatogramma (LJD)



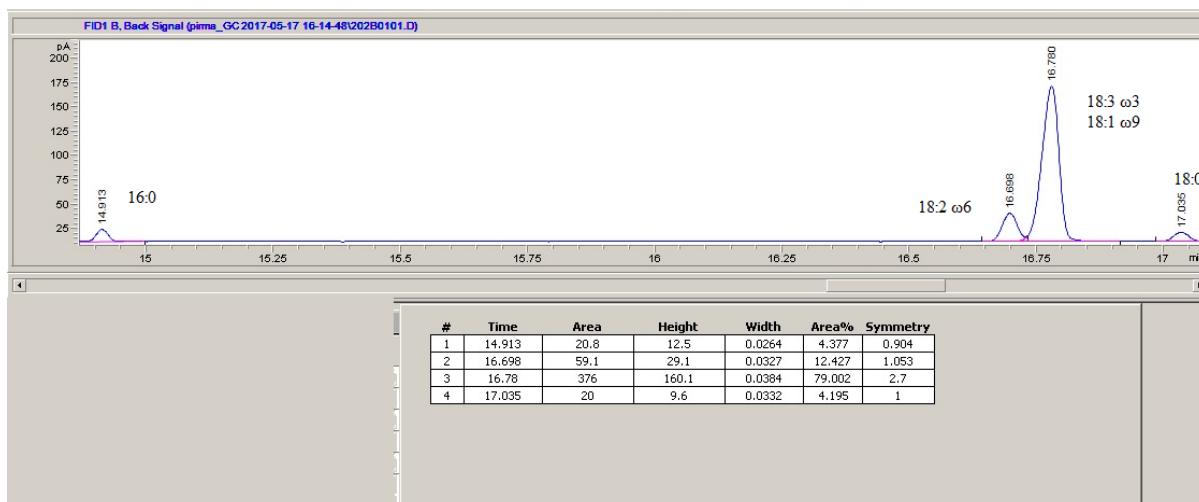
“Priekuli” linu eļļas hromatogramma (LJD)



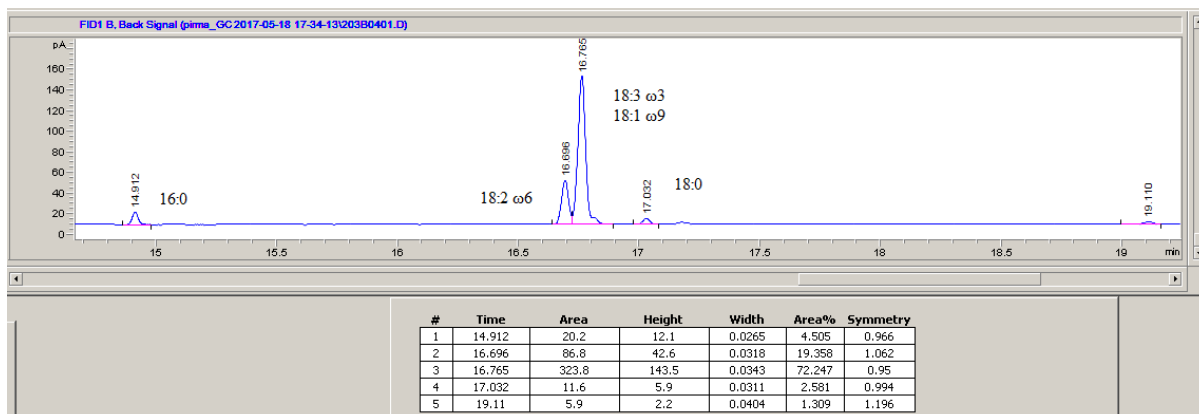
“Vega 2” linu eļļas hromatogramma (LJD)



“Bialobrezskie” kaņepju eļļas hromatogramma (LJD)



“Forte” rapšu eļļas hromatogramma (LJD)



Bakalaura darbs „Ķīmiskā sastāva izvērtējums svaigi spiestās augu eļļās ar gāzu hromatogrāfijas – masspektrometrijas metodēm” izstrādāts LU Ķīmijas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: _____
(personiskais paraksts) (paraksta atšifrējums)

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Asoc. profesors, Dr. Chem. Pēteris Mekšs: _____
(personiskais paraksts) (datums)

Recenzents Dr. Chem. Ilva Nakurte: _____
(personiskais paraksts) (datums)

Darbs iesniegts Ķīmijas fakultātē: _____ (datums)

Dekāna pilnvarotā persona, metodiķe: _____ Vija Gutāne
(personiskais paraksts)

Darbs aizstāvēts kursa gala pārbaudījuma komisijas sēdē:

_____ protokols Nr. _____ (ieraksta sekretārs)
(datums) (protokola Nr.)

Komisijas sekretāre, lektore: _____
(personiskais paraksts) (paraksta atšifrējums)