



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE

PĀRTIKAS TEHNOLOĢIJAS FAKULTĀTE
FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY

Rita Riekstiņa-Dolģe
Mg. sc. soc.

ĀBOLU SIDRA KVALITĀTI IETEKMĒJOŠIE FAKTORI
FACTORS INFLUENCING APPLE CIDER QUALITY

Promocijas darba kopsavilkums
inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda iegūšanai
pārtikas zinātnes nozarē

*Summary of promotion work for acquiring
the Doctor's degree of Engineering Sciences
in sector of Food Sciences*

Autore / Author _____

Jelgava
2014

Promocijas darba vadītāja /
Scientific supervisor:

Vadošā pētniece / *Leading researcher*
Dr. sc. ing. Zanda Krūma

Promocijas darba konsultante /
Scientific adviser:

Prof., *Dr. sc. ing. Daina Kārklīņa*

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers:*

Prof., *Dr. chem. Viesturs Kreicbergs* (Latvijas Lauksaimniecības universitāte /
Latvia University of Agriculture)

Vadošā pētniece / *Leading researcher, doc., Dr. biol. Vizma Nikolajeva* (Latvijas
Universitāte / *University of Latvia*)

Vadošais pētnieks / *Leading researcher, Dr. chem. Thierry Talou* (INPT-
ENSIACET, Tulūzas universitāte / *INPT-ENSIACET, University of Toulouse, France*)

Darba izstrāde un noformēšana veikta ar Valsts pētījumu programmas „NatRes”
projekta Nr. 3 „Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana
paaugstinātas uzturvērtības pārtikas produktu izstrādei (PĀRTIKA)” un ESF projekta
„Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai”, vienošanās Nr.
2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017, atbalstu.

*Doctoral thesis has been worked out by financial support of State Research
Programme „NatRes” Project No. 3. „Sustainable use of local agricultural
resources for development of high nutritive value food products (Food)” and ESF
project „The support for implementation of LUA doctoral studies” contract No.
2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.*



Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Pārtikas zinātnes nozares
promocijas padomes atklātajā sēdē 2014. gada 16.jūnijā plkst. 10.00 145. auditorijā
Pārtikas tehnoloģijas fakultātē, Lielajā ielā 2, Jelgavā.

*The defence of the thesis in open session of the Promotion Board of Food Science
will be held on June 16, 2014, at 10 a.m. in auditorium 145, at the Faculty of Food
Technology of LUA, Liela street 2, Jelgava.*

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā
bibliotēkā Lielā ielā 2, Jelgavā, LV–3001, un internetā (pieejams:
<http://llu.fb.llu.lv/llu-theses.htm>). Atsauksmes sūtīt Pārtikas zinātnes nozares
promocijas padomes sekretārei LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes docentei
Dr. sc. ing. I. Beitānei (Lielā iela 2, Jelgava, LV–3001, e-pasts: ilze.beitane@llu.lv).

*The thesis is available at the Fundamental Library of the Latvia University of
Agriculture, Liela street 2, Jelgava, LV–3001, and on internet: <http://llu.fb.llu.lv/llu-theses.htm>. References are welcome to send to *Dr. sc. ing. I. Beitānei*, the Secretary
of the Promotion Board in sector of Food Science at LUA, Faculty of Food
Technology, Liela street 2, Jelgava, LV–3001, Latvia, or e-mail: ilze.beitane@llu.lv.*

SATURS

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE.....	3
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA	6
MATERIĀLI UN METODEDES	9
PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	15
1. Ābolu šķirņu izvērtējums.....	15
2. Rauga celma un raudzēšanas apstākļu ietekme uz sidra kvalitāti	20
3. Kupažēšanas ietekme uz sidra kvalitāti	22
4. Nogatavināšanas procesa ietekme uz sidra kvalitāti	26
5. Pētījumā iegūto un komerciālo sidru salīdzinājums	28
SECINĀJUMI	31
IETEIKUMI RAŽOTĀJIEM	32

CONTENT

TOPICALITY OF THE RESEARCH.....	33
APPROBATION OF THE RESEARCH	35
MATERIALS AND METHODS	36
RESULTS AND DISCUSSION	39
1. Evaluation of apple varieties	39
2. Influence of the yeast strain and fermentation conditions on the cider quality	41
3. Influence of blending on the quality parameters of cider.....	43
4. Influence of maturation process on the quality of cider	45
5. Comparison of experimental and commercial ciders	46
CONCLUSIONS.....	47
RECOMMENDATIONS FOR MANUFACTURERS	49

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Latvijā pirmo vietu augļu un ogu kopražas rādītājos stabili ieņem āboli. Latvijā tirgus vajadzībām tiek audzētas vairāk nekā 87 ābeļu šķirnes, no tām populāras ir 10 šķirnes. Latvijā 2012. gadā saražots ap 9,4 tūkstošiem tonnu ābolu¹, kuru lielākā daļa tiek realizēta svaigā veidā. Latvijā ābolu pārstrādes tirgus nav nostabilizējies un piepildīts. Nelielā apjomā tiek ražota ābolu sula, sulas koncentrāti, ievārījumi, mājas vīns, sidrs u.c. produkti. Latvijas augļkopības nozarē trūkst pārdomātas šķirņu ābolu audzēšanas koncepcijas – šobrīd galvenokārt tiek audzētas lielaugļu šķirnes, kas tiek realizētas svaigā veidā, bet netiek audzēti āboli, kas paredzēti dažādiem pārstrādes veidiem. Nepietiekamā ābolu šķirņu izvēle un mainīgie agroklimatiskie apstākļi ierobežo iespēju attīstīt mazos alkoholisko dzērienu ražošanas uzņēmumus. Latvijā pieaug interese par iespēju audzēt kreba šķirņu ābolus, kas piemēroti vīna un sidra ražošanai. Šobrīd ir sarežģīti iegūt datus par ābolu pārstrādes apjomiem Latvijā, t.sk. sidra gatavošanu, bet dati parāda, ka 2012. gadā mazie alkoholisko dzērienu ražotāji saražojuši trīs reizes vairāk alkoholisko dzērienu nekā 2011. gadā (Alkoholisko..., 2013), un tas liecina par interesi strauji attīstīt šo ražošanas jomu.

Ar vārdu „sidrs” Eiropā saprot dzērienu, kura pamatsastāvdaļa ir pilnīgi vai daļēji raudzēta ābolu sula. Ābolu sidra ražošanas attīstīšana dotu iespēju Latvijas ābolu audzētājiem realizēt ābolus, ražotājiem attīstīt jaunu tirgus jomu un patērētājiem paplašināt viegli alkoholisko dzērienu piedāvājuma klāstu.

Patērētāji ābolu sidra kvalitāti galvenokārt vērtē pēc tā sensorajām īpašībām (garša, smarža, ārējais izskats), kuras ietekmē fizikāli ķīmiskie rādītāji, kā cukuru, skābju, fenolu, gaistošo savienojumu saturus.

Āboli ir augļi ar augstu fenolu savienojumu saturu (Boyer and Liu, 2004), kas nedaudz zūd sulas ieguves (Lachman et al., 2006) un raudzēšanas (Picinelli Lobo et al., 2009) procesā. Fenola savienojumu saturu sidrā ietekmē ābolu šķirnes (Alonso-Salces et al., 2005) un pārstrādes procesi (Lea, 1995). Fenoliem ir liela nozīme sidra kvalitātē, to daudzums nosaka dzēriena garšas kopumu, jo fenoli saistīti ar dzēriena krāsu, rūgto un savelkošo garšu (Alonso-Salces et al., 2001). Viens no galvenajiem sidra kvalitātes rādītājiem ir gaistošie aromātu veidojošie savienojumi, kas kopā ar cukuriem un skābēm veido kopējo garšas buķeti. Kvantitatīvi svarīgākie gaistošie savienojumi ābolu vīnā ir garo ķēžu spirti, esteri un mazmolekulārās taukskābes (Vidrih and Hribar, 1999). Gaistošo savienojumu daudzums, kas veidojas raudzēšanas laikā, ir atkarīgs no raudzējamās sulas sastāva, raudzēšanas apstākļiem un no izmantotā rauga celma (Regodon et al., 2006).

Sidra ražošanā neatkarīgi no izvēlētās šķirnes āboliem vai šķirņu kupāžām būtiskāk ir izvēlēties piemērotākos sidra raudzēšanas tehnoloģiskos procesus, ieskaitot labāko rauga tīrkultūras izvēli un nogatavināšanas apstākļus, kas nodrošina pamatu kvalitatīvam gala produktam ar vislabākajām sensorajām īpašībām.

¹ Apples production [Skatīts 01.02.2014.] Pieejams / Available:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&code=tag00036&plugin=0>

Izmantotais rauga celms būtiski ietekmē raudzētu dzērienu garšu, smaržu, krāsu un ķīmisko sastāvu (Bellon et al., 2011; Romano et al., 2003; Guth, 1997). Ābolskābes pienskābā rūgšana būtiski ietekmē sidra sensoros rādītājus, jo samazina vīna skābo garšu, mīkstinot asās garšas nianšes, vienlaikus samazinot ābolskābes saturu un paaugstinot pH un CO₂ saturu. Arī sidra izturēšana uz dažādas izcelsmes ozolkoka skaidām un dažādi graudzētām skaidām pozitīvi ietekmē gaistošo vielu daudzumu sidrā, kā arī dzēriena sensoros rādītājus un fenolu saturu.

Pētījums ir aktuāls, jo Latvijā ābolu pārstrāde dzērienu gatavošanai pašlaik ir neizmantots potenciāls. Pētnieciskie rezultāti dos pārskatu par Latvijā audzēto ābolu šķirņu ķīmisko sastāvu un to piemērotību sidra ražošanai, kā arī tiks izpētīta dažādu tehnoloģisko procesu ietekme uz sidra kvalitāti.

Promocijas darba **hipotēze**: šķirnes ābolos esošie fenolu savienojumi un gaistošie savienojumi, kas rodas sidra gatavošanas procesā, ietekmē gatavā produkta kvalitāti.

Laī pierādītu izvirzīto hipotēzi, promocijas darba **mērķis** ir izvērtēt izejvielu sastāva, raudzēšanas, nogatavināšanas un kupažēšanas procesu ietekmi uz ābolu sidra kvalitāti.

Promocijas darba **pētījuma objekts** ir lielaugļu un kreba šķirnes ābolu sula un sidrs.

Promocijas darba hipotēzi pierāda ar šādām **tēzes**:

1. izvēlēto šķirņu ābolu sulas sastāvs nosaka gatavā sidra kvalitāti;
2. izvēlētais rauga celms un raudzēšanas apstākļi būtiski ietekmē gaistošo savienojumu saturu sidrā;
3. ābolu sulas sastāva optimizēšanai un labāku sidra sensoro īpašību iegūšanai nepieciešams veidot dažādu šķirņu ābolu sulu vai sidru kupāžas;
4. nogatavināšanas laikā pievienotās pienskābes baktērijas un ozolkoka skaidas ietekmē sidra fenolu un gaistošo savienojumu saturu;
5. pētījumā iegūtajos sidros un komerciālajos sidros fenolu un gaistošo savienojumu saturs būtiski atšķiras.

Pētījuma **uzdevumi**:

1. salīdzināt Latvijā audzētu lielaugļu un kreba šķirņu ābolu sulu un no tiem gatavota sidra fizikālos rādītājus un ķīmisko sastāvu;
2. izpētīt rauga celma un raudzēšanas apstākļu ietekmi uz sidra kvalitāti;
3. pētīt kupažēšanas ietekmi uz sidra gaistošo savienojumu veidošanos un sensorajām īpašībām;
4. pētīt pienskābes baktēriju *Oenococcus oeni* un ozolkoka skaidu ietekmi uz sidra kvalitāti;
5. klasificēt pētījumā iegūtos un komerciālos sidrus pēc fenolu un gaistošo savienojumu satura.

Promocijas darba **novitāte** un **zinātniskais** nozīmīgums.

1. Izpētīts Latvijā audzēto šķirņu ābolu sidra gaistošo un fenolu savienojumu sastāvs.
2. Izstrādāta uz pētījuma datiem balstīta zinātniski pamatota tehnoloģija Latvijā audzētu šķirņu ābolu piemērotībai sidra ražošanai.
3. Ir pierādīts, ka kvalitatīva sidra ieguvei var izmantot lielaugļu ābolus.

Promocijas darba **tautsaimnieciskā** nozīme.

1. Pētījuma rezultāti ir izmantojami augļkopjiem, izvēloties komercdārzu stādījumiem piemērotas ābeļu šķirnes, kas paredzētas sidra ieguvei.
2. Latvijā audzētu lielaugļu šķirņu ābolus ir iespējams izmantot sidra ražošanai.
3. Fenolu un gaistošo savienojumu pētījumi palīdz ražotājiem izvēlēties izejvielas un atbilstošus tehnoloģisko procesu parametrus kvalitatīva sidra ražošanai.

Pētījums veikts Valsts pētījumu programmas "Vietējo resursu (zemes dziļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas" („NatRes”) ietvaros, kā arī izmantojot ESF grantu projekta Nr. 1.1.2.1.2. "Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai", vienošanās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017, finansējumu.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījumu rezultāti apkopoti un publicēti 3 monogrāfijas apakšnodaļās, **10** recenzējamās zinātniskajos izdevumos.

Monogrāfijas apakšnodaļas – 3

1. Krūma Z., Kampuss K., Kampuse S., **Riekstiņa-Dolģe R.**, Rūse K., Šnē E. (2012) Fenolu savienojumi ogās un augļos. No: *Bioloģiski aktīvās vielas pārtikas produktos*. Red.: Straumīte E., Galoburda R., Krūma Z., Ciproviča I., Zagorska J. Jelgava: LLU, PTF, 189.–200. lpp.
2. Krūma Z., **Riekstiņa-Dolģe R.**, Dabiņa-Bicka I. (2012) Fenolu savienojumi alkoholisko dzērienu ražošanā. No: *Bioloģiski aktīvās vielas pārtikas produktos*. Red.: Straumīte E., Galoburda R., Krūma Z., Ciproviča I., Zagorska J. Jelgava: LLU, PTF, 213.–219. lpp.
3. Krūma Z., **Riekstiņa-Dolģe R.** (2012) Gaistošo savienojumu izmaiņas alkoholisko dzērienu raudzēšanas procesā. No: *Bioloģiski aktīvās vielas pārtikas produktos*. Red.: Straumīte E., Galoburda R., Krūma Z., Ciproviča I., Zagorska J., Jelgava: LLU, PTF, 260. lpp.

Publikācijas – 10

1. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D. (2014) Physical-chemical parameters of Latvian apple juices and their suitability for cider production. *International Journal of Agricultural, Biosystems Science and Engineering*, Issue 8 (3), p 61 - 65.
2. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Straumite E., Karklina D. (2013) The effect of blending on sensory characteristics of apple cider. **In:** *International Proceedings of Chemical, Biological & Environmental Engineering, Nutrition and Food Sciences II*, Russia, Moscow, p. 39–43.
3. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Straumite E. (2012) Sensory properties of cider depending on apple variety. **In:** *Proceedings of Annual 18th International conference Research for Rural Development 2012*, Latvia, Jelgava, p. 102–108 (Scopus datubāze / database).
4. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Straumite E. (2012) Sensory properties of cider, depending on the added yeast strains. **In:** *Proceedings of the 6th Central European Congress on Food*, Serbia, Novi Sad, p. 1259–1264.
5. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D. (2012) Aroma composition and polyphenol content of ciders available in Latvian market. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Issue 67, p. 826–830.
6. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Seglina D. (2011) Composition of aroma compounds in fermented apple juice: effect of apple variety, fermentation temperature and inoculated yeast concentration. *Procedia Food Science*, vol. 1, p. 1709–1716 (ScienDirect datubāze / database).
7. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Seglina D. (2011) Influence of different yeast strain on the production of volatile compounds in fermented apple juice. **In:** *Annual 17th International Proceedings of conference Research for Rural Development 2011*, Latvia, Jelgava, p. 133–139 (Scopus datubāze / database).
8. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Augspole I., Ungure E., Karklina D., Seglina D. (2011) Phenolic compounds in fermented apple juice: effect of apple variety and apple ripening index. **In:** *Monography Selected Topics in Food Biotechnology*. Ed. Chrzanowska J., Zambrowicz A. Wroclaw, Poland, p. 176–180.
9. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Dimins F., Krasnova I., Karklina D. (2014) Variation of phenolic compounds in Latvian apple juices and their suitability for cider production (Akceptēts publicēšanai konferences International Conference on Biological and Life Sciences rakstu krājumā / Accepted for publication in conference International Conference on Biological and Life Sciences proceedings)
10. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Cinkmanis I., Straumite E., Sabovics M., Tomsone L. (2014) Influence of *Oenococcus oeni* and oak chips on the chemical composition and sensory properties of cider. (Akceptēts publicēšanai konferences

Par rezultātiem ziņots **11 starptautiskajās zinātniskajās konferencēs** un kongresos Latvijā, Lietuvā, Igaunijā, Polijā, Grieķijā, Serbijā, Nīderlandē, Francijā, kā arī V Eiropas zinātņu atvērtajā forumā ESOF 2012 (Dublina, Īrija), izstādē „Riga Food 2011”, „Riga Food 2013”.

1. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D. (2014) „Physical-chemical parameters of Latvian apple juices and their suitability for cider production”. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Spānija, Madride, 2014. gada 27.–28. martā. (Mutiskais referāts / *oral presentation*).
2. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Dimins F., Karklina D. „Phenolic composition and sensory properties of ciders produced from Latvian apples”, International conference in new knowledge on chemical reactions during food processing and storage „Chemical Reactions in Foods VII”, Čehija, Prāga, 2012. gada 14.–16. novembrī. (Stenda referāts / *poster presentation*.)
3. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D. „Aroma composition and polyphenol content of ciders available in Latvian market”, *ICAFE 2012, International Conference on Agricultural and Food Engineering*, Nīderlande, Amsterdamā, 2012. gada 25.–26. jūlijā. (Mutiskais referāts / *oral presentation*.)
4. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Straumite E. „Sensory properties of cider, depending on the added yeast strains”, 6th Central European Congress on Food, Serbija, Novi Sad, 2012. gada 23.–26. maijā. (Stenda referāts / *poster presentation*.)
5. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Straumite E. (2012) „Sensory properties of cider depending on apple variety” Annual 18 International Scientific Conference „Research for Rural Development”, Jelgava, 2012. gada 18.–20. maijā. (Mutiskais referāts / *oral presentation*.)
6. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Straumite E. ”Sensory properties of cider made by blending of several variety apple juices”, 7th Baltic Conference on Food Science and Technology, “Innovative and healthy food for consumers”, Kauņa, 2012. gada 17.–18. maijā. (Stenda referāts / *poster presentation*.)
7. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Galoburda R., Karklina D., Seglina D. (2011) “Effect of pasteurization on the quality of fermented apple juice”, 6th Baltic Conference on Food Science and Technology „Innovations for food science and production” FOODBALT-2011, Jelgava, 2011. gada 5.–6. maijā. (Stenda referāts / *poster presentation*.)
8. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Seglina D. (2011) “Influence of different yeast strains on the production of volatile compounds in fermented apple juice”, Annual 17 International Scientific Conference Research for Rural

Development, Jelgava, 2011. gada 18.–20. maijā. (Mutiskais referāts / *oral presentation.*)

9. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Karklina D., Seglina D. (2011) „Composition of aroma compounds in fermented apple juice: effect of apple variety, fermentation temperature and inoculated yeast concentration” ICEF 2011 11 th International Congress on Engineering and Food (ICEF 11), Grieķija, Atēnas, 2011. gada 22.–26. maijā. (Stenda referāts / *poster presentation.*)
10. **Riekstina-Dolge R.**, Kruma Z., Augšpole I., Ungure E., Karklina D., Seglina D. (2011) „Phenolic compounds in fermented apple juice: effect of apple variety and apple ripening index” 5th International Conference on „Quality and safety in food production chain”, Polija, Vroclava, 2011. gada 19.–20. septembrī. (Stenda referāts / *poster presentation.*)
11. Kruma Z., **Riekstina-Dolge R.**, Karklina D., Seglina D. Comparison of volatile compounds of fresh and fermented apple juice from different apple varieties. 1st Euro-Mediterranean Symposium of Fruit and Vegetable Processing, Francija, Aviņjona, 2011. gada 18.–20. aprīlī, p.136 (Stenda referāts / *poster presentation.*).

MATERIĀLI UN METODES

Pētījuma laiks un vieta

Eksperimenti veikti no 2010. līdz 2013. gadam:

1. LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes Pārtikas tehnoloģijas katedras Pārtikas produktu analīžu laboratorijā (sidru raudzēšana un uzglabāšana, spirta un sausnas satura noteikšana), Iepakojuma materiālu īpašību izpētes laboratorijā (šķīstošās sausnas saturs, blīvums, pH, kopējo skābju saturs, gaistošo savienojumu saturs, kopējo fenolu saturs), Mikrobioloģijas zinātniskajā laboratorijā (rauga un pienskābes šūnu skaita noteikšana), Pārtikas produktu sensorās novērtēšanas laboratorijā (sidru sensorā vērtēšana);
2. LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes Ķīmijas katedras Dabas vielu ķīmijas zinātniskajā laboratorijā (atsevišķo fenolu savienojumu un cukuru satura noteikšana);
3. Latvijas Valsts augļkopības institūta Eksperimentālās augļu pārstrādes laboratorijā (ābolu sulas ieguve) un Bioķīmijas laboratorijā (ābolu šķīstošās sausnas satura, kopējo skābju satura, stingrības, cietes indeksa, tanīnu satura noteikšana).

Pētījumā izmantotie materiāli

Eksperimentiem tika izmantotas Latvijas Valsts augļkopības institūtā un SIA Pūres Dārkopības pētījumu centrā audzēti āboli, kas novākti 2010., 2011. un 2012. gada septembrī un oktobrī (ābolu raža, kura izmantota konkrētajam eksperimentam, norādīta pētījuma struktūras aprakstā). Āboli tika novākti un pēc tam 1–2 nedēļas uzglabāti noliktavā $+3\pm 1$ °C temperatūrā ar gaisa relatīvo mitrumu 90–95%. Pētījumā izmantotas lielauģļu (‘Auksis’, ‘Antonovka’, ‘Merry Gold’,

‘Lietuvas Pepiņš’, ‘Remo’, DI-93-4-14 (Nr. 14)) un kreba ābolu (‘Kerr’ ‘Kuku’, ‘Quaker Beauty’, ‘Riku’, ‘Hyslop’, ‘Cornelie’, ‘Ruti’ un K-8/9-24) šķirnes.

Raudzēšana tika veikta, izmantojot četrus komerciāli pieejamus rauga celmus (*Saccharomyces bayanus* rauga celms EC-1118, *Saccharomyces bayanus* raugs „Cider yeast”, *Saccharomyces cerevisiae* raugs 71B-1122, *Saccharomyces cerevisiae* rauga celms ICV-K1 (V1116)). Sulas sulfītēšanai un stabilizēšanai tika lietots „Tannisol” preparāts („Enartis”, Itālija).

Nogatavināšanas procesā sidram tika pievienotas pienskābes baktērijas (*Bacillus Malolactic Bacteria Culture Oenococcus oeni*) („Lalvin”, Francija), negraudzētas ozolkoka skaidas „French Oak Chips” („Young’s Brew”, Lielbritānija) un vidēji graudzētas ozolkoka skaidas „American oak chips” („Browland”, Beļģija).

Pētījumā salīdzināšanai tika izmantoti 11 dažādās valstīs ražoti sidra paraugi.

Sidra gatavošanas tehnoloģija

Sidra gatavošanas tehnoloģija ietver sulas iegūvi, tās raudzēšanu un nogatavināšanu. Ābolus sasmalcina vidēji 7×5 mm skaidiņās, izmantojot rīvi. Ābolu sula iegūta ar hidraulisko spiedi „Basket press 60K” („Voran Maschinen” GmbH, Austrija), kuras groza diametrs ir 400 mm, vienas kārtas ābolu masas biezums vidēji 150 mm, četras starplikas, spiediens 220–260 bar. Uzreiz pēc sulas ieguves tika pievienots „Tanissol” (10 g 100 L⁻¹), un sula izturēta 24 h.

Sidru raudzēšanai izmantoja četrus komerciālos rauga veidus un divas raudzēšanas temperatūras. Raudzēšana tika veikta:

- 0,75 L stikla pudelēs piecos atkārtojumos,
- 5 L stikla pudelēs trijos atkārtojumos.

Pēc raudzēšanas sidrs tika dekantēts no rauga nogulsnēm, pildīts tumšās 0,75 L stikla pudelēs un aizkorķēts.

Pētījuma struktūra

Pētījums veikts piecos posmos, kuros analizēti ābolu, ābolu sulas un sidra fizikālie, ķīmiskie, mikrobioloģiskie un sensorie rādītāji. Kopējā pētījuma struktūra parādīta 1. attēlā.

I posms: Ābolu šķirņu izvērtējums

Pirmajā posmā analizēta ābolu šķirnes ietekme uz sidra kvalitāti. Eksperimentam izmantoti 14 šķirņu āboli: lielaugļu šķirnes ‘Auksis’, ‘Lietuvas Pepiņš’, DI-93-4-14, ‘Remo’, ‘Antonovka’, ‘Merry Gold’ un kreba šķirnes ‘Riku’, ‘Ruti’, K-8/9-24, ‘Cornelie’, ‘Hyslop’, ‘Kuku’, ‘Kerr’, ‘Quaker Beauty’ āboli, to sulas un sidri (2011. gada ražas āboli). Raudzēšanai izvēlēts komerciālais raugs *Saccharomyces cerevisiae* 71B-1122.

II posms: Rauga ietekmes izvērtējums

Pētījumā analizēta raudzēšanas procesa ietekme uz sidra kvalitāti un pārbaudīta rauga celma, raudzēšanas temperatūras un rauga koncentrācijas ietekme uz produkta kvalitāti. Pētījumā izmantota šķirnes ‘Lietuvas Pepiņš’ ābolu sula. Sulai pievienoti 4 veidu raugi: *Saccharomyces bayanus* rauga celms EC-1118, *Saccharomyces bayanus* raugs ”Cider yeast”, *Saccharomyces cerevisiae* rauga celms 71B-1122 un

Saccharomyces cerevisiae rauga celms K1V-1116 (V1116). Rauga koncentrācija – $7,3 \times 10^7$ rauga šūnas L^{-1} .

Lai pārbaudītu raudzēšanas temperatūras un rauga koncentrācijas ietekmi uz sidra kvalitāti, tika izmantota šķirnes ‘Lietuvas Pepiņš’ ābolu sula. Raudzēšanai izvēlēts *Saccharomyces bayanus* raugs EC-1118 trīs dažādās koncentrācijās. Raudzēšana veikta divās temperatūrās: $+16 \pm 1$ °C un $+23 \pm 1$ °C. Pētījumā izmantoti 2010. gada ražas āboli.

III posms: Kupāžēšanas ietekmes izvērtējums

Pētījumā izmantotas 5 šķirņu ābolu sulas, kupāža veikta sulām pirms raudzēšanas, kā arī jau gataviem sidriem, un salīdzināti to kvalitātes rādītāji. Pētījumā izmantoti 2010. gada ražas āboli. Pētījumā izmantoti seši kupāžu veidi (1. tab.), kuriem noteiktas fizikāli ķīmiskā sastāva izmaiņas raudzēšanas laikā (1., 3., 7., 14., 21., 28., 35. un 42. dienā).

1. tabula / Table 1

Kupāžēto paraugu raksturojums / Characterization of blended samples

Apzīmējums / Abbreviation	Ābolu šķirnes / Apple varieties	Ābolu šķirņu sulas proporcija sidrā / Proportion of juices in ciders
Kupāžēts–raudzēts / Blended – fermented		
R_1_BF	‘Auksis’:‘Remo’:‘Kerr’	1 : 1 : 1
R_2_BF	‘Auksis’:‘Remo’:‘Kerr’	2 : 1 : 2
DI_1_BF	‘Auksis’:DI-93-4-14:‘Kerr’	1 : 1 : 1
DI_2_BF	‘Auksis’:DI-93-4-14:‘Kerr’	2 : 1 : 2
LP_1_BF	‘Auksis’:‘Lietuvas Pepiņš’:‘Kerr’	1 : 1 : 1
LP_2_BF	‘Auksis’:‘Lietuvas Pepiņš’:‘Kerr’	2 : 1 : 2
Raudzēts–kupāžēts / Fermented – blended		
R_1_FB	‘Auksis’:‘Remo’:‘Kerr’	1 : 1 : 1
R_2_FB	‘Auksis’:‘Remo’:‘Kerr’	2 : 1 : 2
DI_1_FB	‘Auksis’:DI-93-4-14:‘Kerr’	1 : 1 : 1
DI_2_FB	‘Auksis’:DI-93-4-14:‘Kerr’	2 : 1 : 2
LP_1_FB	‘Auksis’:‘Lietuvas Pepiņš’:‘Kerr’	1 : 1 : 1
LP_2_FB	‘Auksis’:‘Lietuvas Pepiņš’:‘Kerr’	2 : 1 : 2

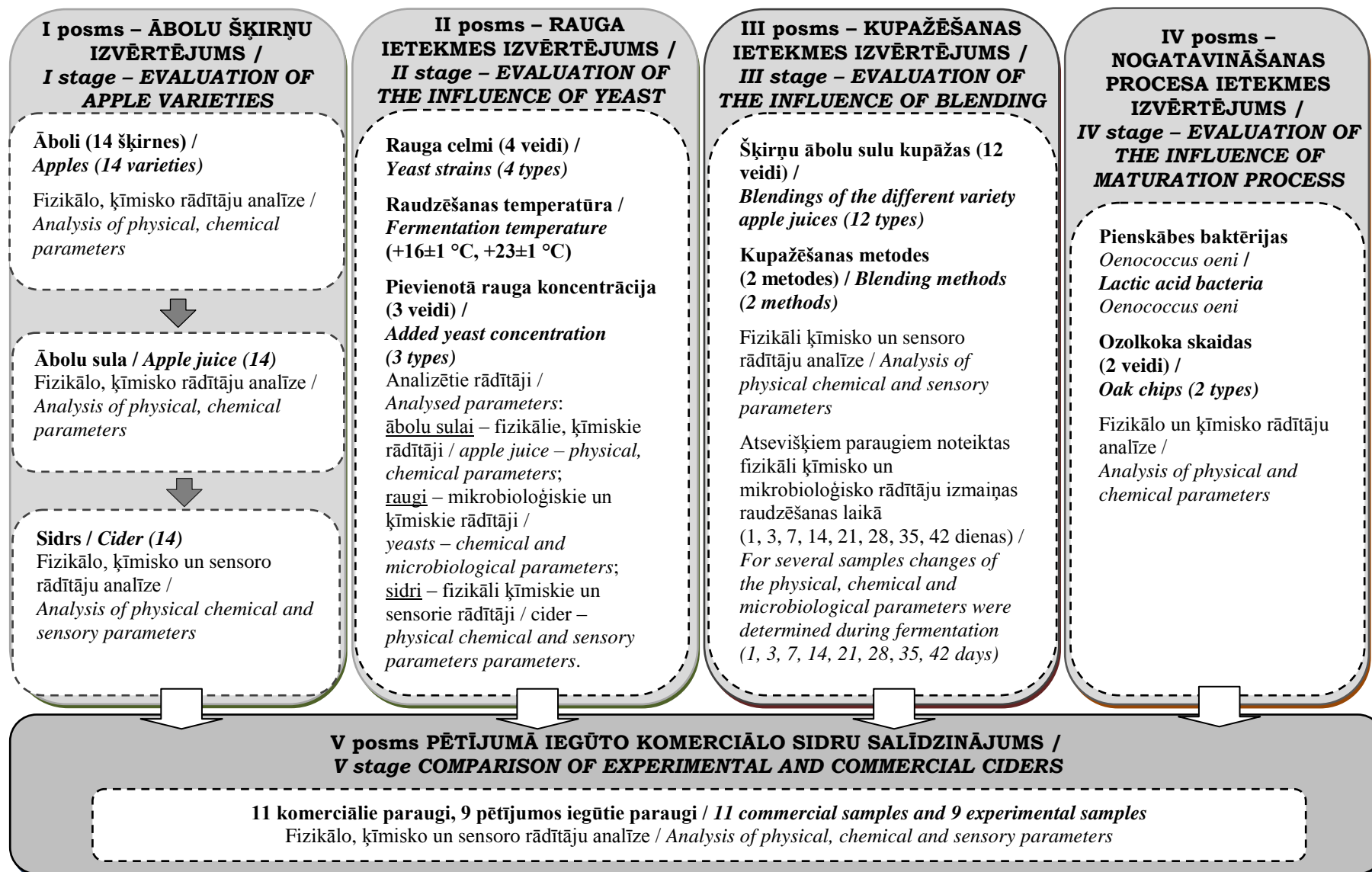
IV posms: Nogatavināšanas procesa ietekmes izvērtējums

Pētījumos analizēta pienskābes baktēriju *Oenococcus oeni* un ozolkoka skaidu ietekme uz sidra kvalitāti. Gan pienskābes baktērijas, gan ozolkoka skaidas pievienotas nogatavināšanas procesā. Eksperimentam tika izmantota kupāža no šķirņu ‘Auksis’, ‘Lietuvas Pepiņš’, ‘Kerr’ sulas attiecībā 2:1:2. Raudzēšanai tika izvēlēts komerciālais raugs *Saccharomyces cerevisiae* 71B-1122.

Pētījumā izmantoti 2012. gada ražas āboli.

V posms: Pētījumā iegūto un komerciālo sidru salīdzinājums

Pētījumā analizēti 11 komerciālie sidri, un to sastāvs salīdzināts ar 10 pētījumā iegūtajiem sidra paraugiem (no katra pētījumu posma tika izvēlēti labākie paraugi).



1. att. Pētījuma struktūra /
Fig. 1. Structure of the research

Komerčiālo sidru paraugu saīsinājumi:

K1 – „Cidre Bouche Brut De Normandie”, K2 – „Cidre Bouche Doux Lieblich”, K3 – „Cidre Bouche Pierre Huet”, K4 – „Bulmers Original Irish Cider”, K5 – „Upcider apple cider natural”, K6 – „Savanna dry premium cider”, K7 – „Abavas sidrs”, pussaldais, K8 – „Abavas sidrs”, pussausais, K9 – „Sables sidrs”, K10 – „Lucky Dog Apple”, K11 – „Apple Garden”.

Pētījumā iegūto sidru saīsinājumi:

- I posms: ‘Auksis’ un ‘Kerr’ šķirņu ābolu sidri;
- II posms: 71B-112 – ar 71B-112 rauga celmu raudzēts sidrs, EC-1118 – ar EC-1118 rauga celmu raudzēts sidrs;
- III posms: LP_2_BF – kupažēts–raudzēts sidrs (šķirnes ‘Auksis’ : ‘Lietuvas Pepiņš’ : ‘Kerr’ proporcijā 2 : 1 : 2); R_2_BF – kupažēts–raudzēts sidra (šķirnes ‘Auksis’ : ‘Remo’ : ‘Kerr’ proporcijā 2 : 1 : 2), DI_1_BF – kupažēts–raudzēts sidrs (šķirnes ‘Auksis’ : DI-9-4-14 : ‘Kerr’ proporcijā 1 : 1 : 1);
- IV posms : P – sidrs, kam pievienotas pienskābes baktērijas; S – sidrs izturēts ar negraudzētām ozolkoka skaidām; GS – sidrs izturēts ar vidēji graudzētām ozolkoka skaidām.

Pētījumā noteiktie rādītāji un izmantotās metodes

Ābolu, ābolu sulas un sidra analīzei izmantotās metodes apkopotas 2. tabulā.

2. tabula / Table 2

Šķirņu ābolu, ābolu sulas un sidra rādītāju noteikšanas metodes un standarti / Determination methods and standards for apples, apple juices and ciders

Rādītāji / Indices	Metode / Methods	Iekārta / Equipment
Ābolu stingrība / <i>Apple firmness</i>	Saskaņā ar digitālā penetrometra „Penetrometer TR 53205” rokasgrāmatu / <i>According to „Penetrometer TR 53205” manual</i>	Digitālais penetrometrs „Penetrometer TR 53205” / <i>Digital penetrometer „Penetrometer TR 53205tip”</i>
Šķīstošās sausas saturas ābolos / <i>Soluble solids content in apples</i>	ISO 2173:2003	Refraktometrs / <i>Refractometer</i> , „ATAGO N20”
Šķīstošās sausas saturas ābolu sulā / <i>Soluble solids content in apples juices</i>	LVS EN 12143:2001	Refraktometrs / <i>Refractometer</i> , „KRUSS HR18 Manual”
Kopējais skābju saturs / <i>Content of total acids</i>	LVS EN 12147:2001	pH mērītājs / <i>pH meter</i> , „Jenway 3510”
pH	LVS EN 1132:2001	pH mērītājs / <i>pH meter</i> , „Jenway 3510”
Cietes indekss / <i>Starch index</i>	Joda-cietes tests / <i>Iodine-starch test</i> , Brookfield et al., 1997	×
Štreifa indekss / <i>Streif index</i>	Streif, 1996	×

2. tabulas turpinājums / Table 2 continued

Rādītāji / Indices	Metode / Methods	Iekārta / Equipment
Sulas iznākums / Juice yield	Gravimetrijas metode / Method of gravimetric	Verificēti sviri / Verified scale, „CAS 150” (Digital computing scale)
Šķīstošās sausas saturas ābolu sulā / Content of soluble solids in apple juice	LVS EN 12143:2001	Refraktometrs / Refractometer, „KRUSS HR18 Manual”
Glikozes, fruktozes un saharozes saturs ābolu sulā / Content of glucose, fructose and sucrose in apple juice	LVS EN 12630	Hromatogrāfs / Chromatograph, „Shimadzu LC-20 Prominence”
Kopējais fenolu saturs ābolu sulā un sidrā / The total phenolic content in apple juice and cider	Singleton, 1999	Spektrofotometrs / Spectrophotometer, „JENWAY 6300”
Kopējais tanīnu saturs ābolu sulā / The total tannins content in apple juice	Paaver et al., 2010	Spektrofotometrs / Spectrophotometer, „JENWAY 6300”
Atsevišķo fenolu saturs ābolu sulā un sidrā / Content of individual phenolic compounds in apple juice and cider	Šķidrums hromatogrāfijas metode / Method of liquid chromatography	Hromatogrāfs / Chromatograph, „Shimadzu LC-20 Prominence”
Gaistošo vielu saturs ābolu sulā, sidrā, aktivētā raugā / Content of volatile compounds in apple juice, cider, activated yeast	Gāzes hromatogrāfijas metode / Method of gas chromatography	Hromatogrāfs / Chromatograph, „Perkin Elmer Clarus 500”
Sulas blīvums / Density of juice	Aerometriskā metode / Method of areometry	×
Rauga šūnu skaits / Count of yeast cells	Šūnu skaita noteikšana ar Gorjajeva kameru / Cell counting with Gorjajev camera	Gaismas mikroskops „Leica DM3000LED” ar digitālo kameru / Light microscope „Leica DM3000LED” with a digital camera
Pienskābes baktēriju skaits / Count of lactic acid bacteria	Šūnu skaita noteikšana ar Gorjajeva kameru / Cell counting with Gorjajev camera	Gaismas mikroskops „Leica DM3000LED” ar digitālo kameru / Light microscope „Leica DM3000LED” with a digital camera
Sensorā analīze, līniskā metode / Line scale method of sensory analysis	ISO 4121:2003	×
Sensorā novērtēšana, sidra garšas identifikācija / Identification of cider taste by sensory evaluation	Williams, 1975	×
Sensorā novērtēšana, sarindošanas tests / Ranking test by sensory evaluation	ISO 8587:2006	×

Datu matemātiskā apstrāde un interpretācija

Datu matemātiskā apstrāde veikta ar matemātiskās statistikas metodēm. Aprēķini veikti ar *MS Excel* programmu, *SPSS 17.0.* un *MultiBase 2014* statistikas programmām. Visiem iegūtajiem rezultātiem aprēķināti šādi rādītāji: vidējais aritmētiskais, standartnovirze.

Izvirzītās hipotēzes pārbaudītas ar p-vērtības metodi, un faktori novērtēti kā būtiski, ja p-vērtība $< \alpha_{0,05}$. Rezultātu interpretācijai pieņemts, ka $\alpha=0,05$ ar 95% ticamību, ja nav norādīts citādi.

Izvērtējot dažādu pazīmju savstarpējo kopsakarību, izmanto korelācijas un regresijas analīzi. Ja korelācijas koeficienta vērtība ir $0,5 \leq |r| \leq 0,8$, starp pētāmajām pazīmēm ir vidēji cieša lineārā sakarība. Ja $|r| > 0,8$, tad starp pētāmajām pazīmēm ir cieša lineārā sakarība (Arhipova, Bāliņa, 2003).

Darbā izmantota hierarhijas klasteru metode, ar ko var klasificēt datu kopu apakšgrupās jeb klasteros. Katrā klasterī tiek apvienoti savstarpēji visciešāk saistītie objekti. Metode izmantota ābolu sulu un sidru klasificēšanai pēc fizikālajiem un ķīmiskajiem rādītājiem. Gaistošo vielu analīzei tika izmantota principiālo komponentu analīze. Principiālo komponentu analīze ir datu analīzes un apstrādes metode (galveno komponentu analīze), ko izmanto dažādu parametru līdzības atrašanai, lai spriestu par to izcelsmes līdzību. Pamatojoties uz analīzi, tiek identificētas galvenās komponentes, kas savā starpā ir saistītas (Leech et al., 2005).

PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN DISKUSIJA

1. Ābolu šķirņu izvērtējums

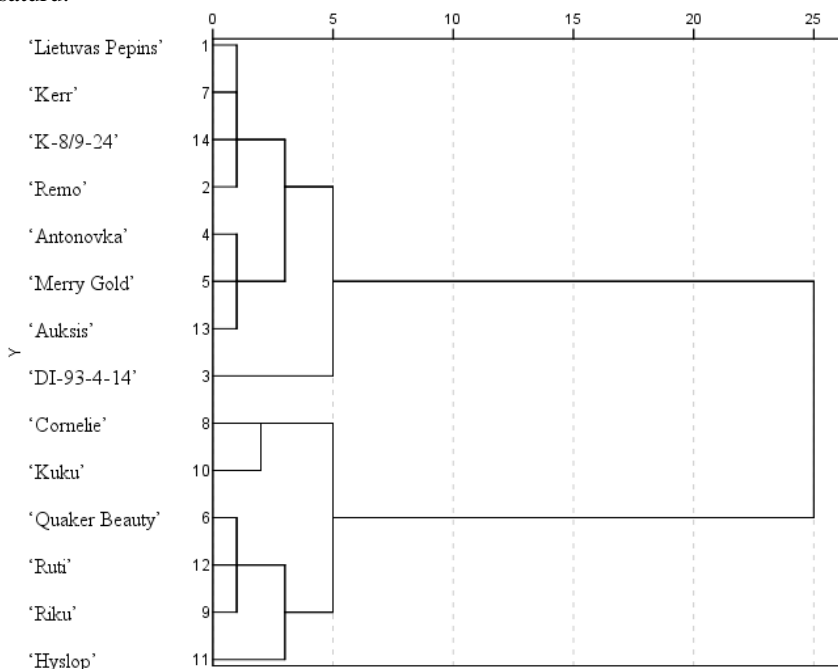
Dažādu šķirņu ābolu sulas kvalitātes rādītāji

Katras šķirnes āboliem izšķir optimālo novākšanas un pārstādes laiku. Augļu pārstrādātājiem ir svarīgi zināt optimālo ābolu gatavību, kad var iegūt maksimālo sulas iznākumu un pārstrādei atbilstošākos fizikāli ķīmiskos rādītājus. Ābolu gatavību raksturo Streifa indekss, un pētījumā izmantotajiem šķirņu āboliem tas ir robežās no 0,07 līdz 0,18. Lielaugļu šķirnes āboliem augstākais sulas iznākums ir hibrīdam DI-93-4-14 66,4% un šķirnēm ‘Lietuvas Pepiņš’ un ‘Remo’ – attiecīgi 65,8% un 64,6%. Savukārt sulas iznākums no kreba šķirņu āboliem ir vidēji 48,8%, kur augstākais 62,8% ir šķirnes ‘Kerr’ āboliem un zemākais 42,4% ‘Quaker Beauty’ šķirnes āboliem.

Sidra galvenā izejviela ir ābolu sula, tāpēc ir svarīgi izvērtēt tās fizikāli ķīmiskos rādītājus. Lielaugļu ābolu sulā kopējais skābju saturs ir robežās no $4,1 \text{ g L}^{-1}$ (‘Auksis’) līdz $10,73 \text{ g L}^{-1}$ (‘Antonovka’). Savukārt kreba ābolos kopējais skābju saturs ir vidēji $10,8 \text{ g L}^{-1}$, augstākais saturs ir ‘Cornelie’ ($19,6 \text{ g L}^{-1}$) ābolu sulā un zemākais ‘Kuku’ ($7,87 \text{ g L}^{-1}$) ābolu sulā. Ābolu sulas pH ir robežās no 2,96 šķirnes ‘Cornelie’ līdz 3,39 šķirnes ‘Ruti’ ābolu sulā. Sidra raudzēšanai paredzētajai sulai ieteicamais pH ir 3,3–3,8 (Lea, 2003), līdz ar to var secināt, ka Latvijas ābolu sulā pH ir ļoti zems, un dotajās robežās no pētītajām sulām ietilpst tikai četru šķirņu

ābolu sulas: ‘Auksis’, ‘Quaker Beauty’, ‘Kuku’ un ‘Ruti’. Sulas ar zemāku pH ieteicams kupažēt līdz vēlamajam pH. Ābolu sulā šķīstošās sausas saturs ir robežās 10,50–17,58 Brix°. Lielaugļu šķirņu ābolu sulā kopējais cukuru saturs (glikozes, fruktozes un saharozes kopsumma) ir no 87,14 g L⁻¹ (‘Antonovka’) līdz 124,47 g L⁻¹ (DI-93-4-14). Kopējais cukuru saturs kreba ābolu sulā ir robežās no 103,70 g L⁻¹ (‘Kerr’) līdz 163,08 g L⁻¹ (‘Kuku’), un tas ir 1,3–1,8 reizes lielāks nekā lielaugļu ābolu sulā. Galvenie cukuri pētītajās ābolu sulās ir fruktoze (23,50–66,91 g L⁻¹) un saharoze (21,0–84,68 g L⁻¹). Lai iegūtu vēlamo dzēriena salduma pakāpi, var variēt ar sulu proporcijām kupažā un, izvēloties rauga celmu, ņemt vērā tā piemērotību noteiktu cukuru pārraudzēšanai.

Lai sagrupētu dažādu šķirņu ābolu sulas atkarībā no šķīstošās sausas, kopējo skābju un cukuru satura, tika izmantota hierarhijas klasteru analīze. Ābolu sulas tika sagrupētas pēc līdzīgiem rādītājiem 2 klasteros (2. att.). Pirmajā klasterī iekļautas visas lielaugļu šķirņu ābolu sulas un kreba šķirnes ‘Kerr’ un hibrīda K-8/9-24 ābolu sula. Pirmā klastera paraugi ir ar zemāko kopējo skābju, sausas un kopējo cukuru saturu.



2. att. Ābolu sulu dalījums klasteros pēc kopējā skābju, sausas un kopējā cukuru satura /

Fig. 2. Division of apple juices in clusters based on content of total acids, soluble solids and total sugars

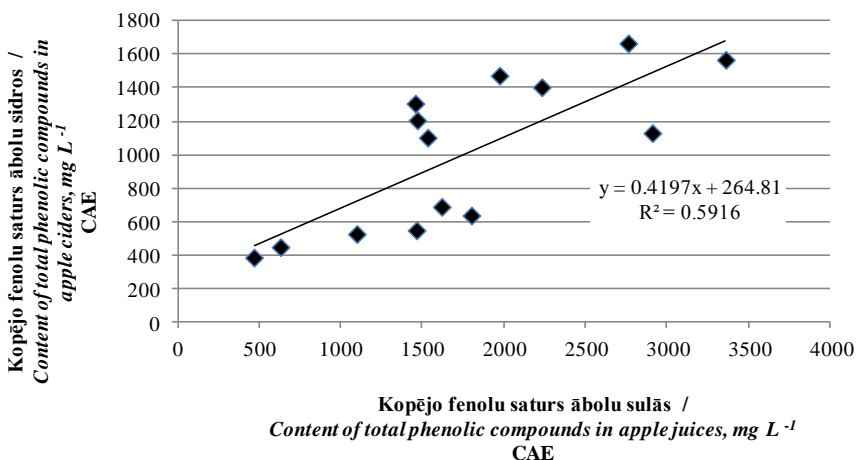
Otrajā klasterī ir iekļautas kreba šķirņu sulas ar līdzīgu un augstāku kopējo skābju saturu, lielākiem sausnas un kopējā cukura satura rādītājiem.

Ābolu sulu pamatrādītāju analīze parāda, ka atsevišķu kreba šķirņu ābolu sulā ir lielāks šķīstošās sausnas, kopējais cukuru un skābes saturs, tāpēc lielaugļu šķirņu ābolu sulas ir nepieciešams kupažēt, veidojot atbilstošu cukuru un skābju attiecību.

Dažādu šķirņu ābolu sidra kvalitātes rādītāji

Izvēlēta ābolu šķirne būtiski ietekmē gatavā sidra kvalitāti. Izvērtējot šķīstošās sausnas saturu ābolu sulā un sausnas saturu sidrā, tika novērota vidēji cieša korelācija starp šiem rādītājiem ($r=0,57$). Spirta saturs sidra paraugos ir robežās 4,7–7,67 tilp. %.

Fenolu savienojumi. Fenolu saturs sidrā ir atkarīgs no ābolu sulas ķīmiskā sastāva un sidra gatavošanas tehnoloģijas (Tsao et al., 2005). Pētījumā konstatēta vidēji cieša korelācija starp kopējo fenolu saturu ābolu sulā un sidrā (3. att.).



* CAE - hlorogēnskābes ekvivalents / chlorogenic acid equivalent

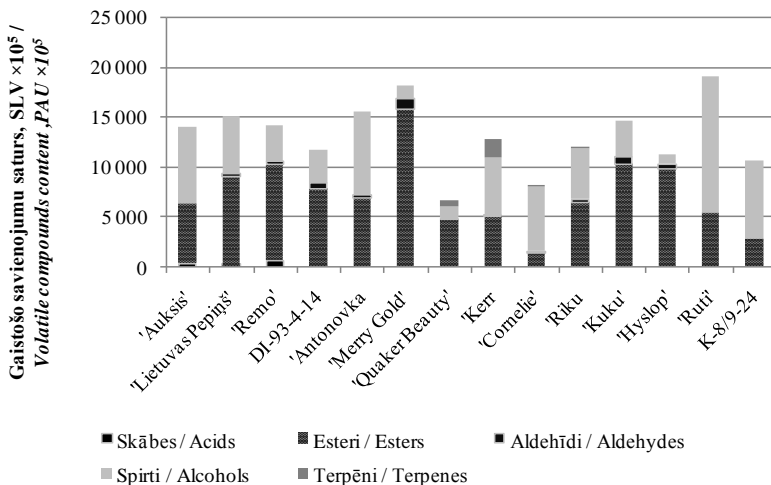
3. att. Ābolu sulas un sidra kopējo fenolu korelācija /

Fig. 3. Correlation of total phenolic content of apple juices and ciders

Kopējais fenolu saturs sidrā ir robežās no 792,68 līdz 3399,78 mg L⁻¹, un to būtiski ($p<0,05$) ietekmē ābolu šķirne. Augstākais kopējais fenolu saturs tika identificēts sidrā, kas gatavots no kreba āboliem ‘Hyslop’, savukārt zemākais – no hibrīda DI-93-4-14 āboliem. Šie rezultāti ir saskaņā ar Nogueira et al. (2008), kas ziņoja par fenolu koncentrāciju ābolu vīnā no 734,8 līdz 2463,4 mg L⁻¹.

Gaistošie savienojumi. Analizētajos sidra paraugos tika identificētas septiņas gaistošo savienojumu klases, proti, skābes, esteri, spirti, aldehīdi, terpēni, ēteri un aromātiskie savienojumi, kuru saturs ir atkarīgs no sidra veida. Būtiska atšķirība starp gaistošo savienojumu grupām lielaugļu un kreba šķirņu sidrā netika identificēta, bet būtiska atšķirība ($p<0,05$) tika identificēta starp atsevišķiem šķirņu sidriem. Lielākais gaistošo savienojumu saturs tika identificēts šķirnes ‘Ruti’ un

'Merry Gold' ābolu sidrā, savukārt zemākais gaistošo savienojumu saturs identificēts šķirnes 'Quaker Beauty' ābolu sidrā. Laba vīna garša ir atkarīga no gaistošo savienojumu – skābju, spirtu, aldehīdu, ketonu un esteru – līdzsvara, kā arī rauga darbības rezultātā izveidoto gaistošo vielu buķetes, kas galvenokārt ir garo ķēžu spirti un esteri (Swiegers et al., 2005). Nozīmīgākās gaistošo savienojumu grupas, kas tika identificētas ābolu sidrā, ir esteri un spirti (4. att.).

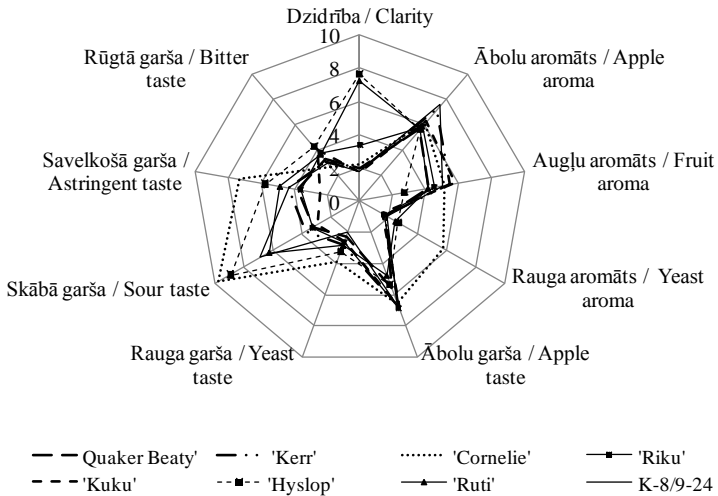
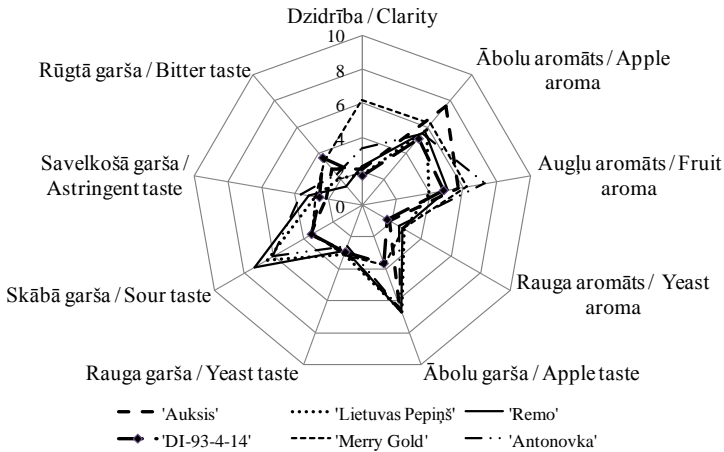


4. att. Gaistošie savienojumi sidrā atkarībā no izmantotās ābolu šķirnes / Fig. 4. Volatile compounds in ciders depending on used apple variety

Esteri sidrā ir robežās no 17,8% ('Cornelie') līdz 87,5% ('Hyslop'), savukārt gaistošie spirti ir no 8,16% ('Hyslop') līdz 78,98% ('Cornelie') no identificēto gaistošo vielu savienojuma. Sidrā identificēti četri etiķskābes esteri – etilacetāts, butilacetāts, 3-metilbutān-1-ola acetāts (izoamilacetāts), heksilacetāts. Etilacetāts ir raksturojošais acetāts Astūrijas sidrā un ir robežās no 17 mg L⁻¹ līdz 222 mg L⁻¹ (Swiegers et al., 2005).

Lielākais 3-metilbutan-1-ola acetāta smailes laukums tika konstatēts šķirnes 'Aukšis' sidrā, un tas tiek raksturots ar banānu, bumbieru aromātu (Fenaroli, 2002). Šis savienojums veido 'Fuji' ābolu sulas aromātu, un tā saturs raudzēšanas laikā pieaug (Wang et al., 2004).

Sensorās īpašības. Sensoro īpašību (dzidrības, ābolu, augļu un rauga aromāta, ābolu un rauga garšas, skābuma, savelkošas un rūgtas garšas) intensitātes vērtēšanas rezultāti ir parādīti 5. attēlā. Saskaņā ar dispersijas analīzes datiem ābolu šķirne būtiski (p<0,05) ietekmē visas sidra sensorās īpašības. Visos sidra paraugos ābolu aromātu intensitāte svārstās robežās no 5,3 līdz 7,6 punktiem.



**5. att. Dažādu šķirņu ābolu sidra sensoro īpašību staru diagrammas /
Fig. 5. Star diagrams of different variety cider sensory properties**

Saskaņā ar vērtētāju rezultātiem ir būtiskas atšķirības ($p < 0,05$) sidra skābās garšas intensitātē, kur augstāka garšas intensitāte tika uzrādīta 'Cornelie' un 'Hyslop' šķirnes sidram. Rezultāti parādīja, ka sidra skābā garša vidēji cieši korelē ($r = 0,63$) ar kopējo skābju saturu sidrā. Būtiskas atšķirības ($p < 0,05$) bija rūgtās un

savelkošās garšas intensitātē, kur augstākie rezultāti bija kreba ābolu šķirņu ‘Riku’ un ‘Hyslop’ sidram. Augstākus ābolu garšas, ābolu un augļu aromāta kopsummas rādītājus uzrādīja šķirnes ‘Auksis’, ‘Kerr’, K-8/9-24 un ‘Antonovka’ šķirnes sidri.

Izvērtējot gaistošo un sensoro īpašību rādītājus, tika atrasta korelācija starp ābolu aromātu un šādiem rādītājiem: vidēji cieša ($r=0,71$) ar 3-metilbutān-1-ola acetātu (augļu, banānu aromāts), vidēji cieša ($r=0,61$) ar etilbutanoātu (salds, augļu, zemeņu aromāts), vidēji cieša ($r=0,64$) ar heksilacetātu (svaigs, augļu, vīnogu aromāts).

Pētījumu rezultāti parāda, ka ābolu sulas un sidra ķīmisko sastāvu ietekmē ābolu šķirne, nevis veids – lielaugļu vai kreba āboli.

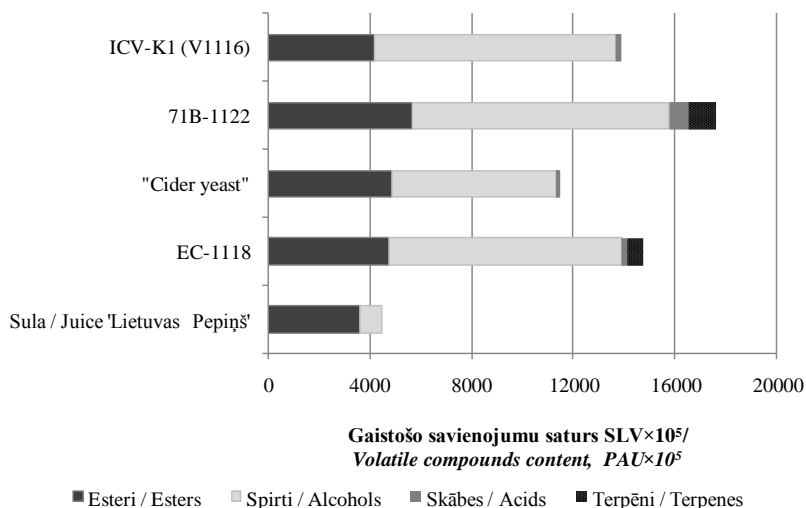
2. Rauga celma un raudzēšanas apstākļu ietekme uz sidra kvalitāti

Rauga celma ietekme uz sidra kvalitāti

Fenolu savienojumi. Pētījumā izmantotās ābolu šķirnes ‘Lietuvas Pepiņš’ sulā fenolu saturs bija 1020 mg L^{-1} , un tas būtiski neatšķiras no fenolu satura paraugā EC-1118. Ar *S. cerevisiae* rauga celmiem raudzētajos paraugos fenolu saturs ir būtiski ($p<0,05$) augstāks.

Gaistošie savienojumi. Rauga celms būtiski ietekmē gaistošo savienojumu veidošanos un transformēšanos raudzēšanas procesā. Rauga vielmaiņa dod nozīmīgu ieguldījumu raudzētu dzērienu garšas veidošanā. Visos sidra paraugos ir iespējams identificēt trīs savienojumus, kas iepriekš konstatēti ābolos, proti, 2-metilbutilacetāts, heksilacetāts un heksān-1-ols. Sidrā tika noteikti četri aktivizēta rauga gaistošie savienojumi: etiķskābe, etanols, feniletilspirts un 3-metilbutilacetāts. Literatūras dati liecina, ka rauga celmi ražo 3-metilbutān-1-olu, un tas ir galvenais spirts vīnā (Romano et al., 2008; Garde-Cerdan and Anczn-Azpilicuet, 2007), un arī visos sidra paraugos tas tika identificēts. Spirti ir visvairāk pārstāvētā gaistošo savienojumu grupa raudzēto dzērienu paraugos, kas veido 56–68% kopējā gaistošo savienojumu daudzuma (6. att.). Galvenie identificētie spirti ir etanols, heksān-1-ols un feniletilspirts. Sulas, kas raudzētas ar *S. cerevisiae* sugu celmiem, uzrādīja augstāku spirtu saturu, līdzīga tendence novērota vīnā (Mateo et al., 2001). Esteri veido vairāk nekā 30–42% kopējo gaistošo aromāta savienojumu. Galvenie identificētie esterī raudzētajos paraugos ir etilacetāts, etiloktanoāts, heksilheksanoāts, 2-metilbutilacetāts. C4-C10 organisko skābju etilesteri, taukskābju etilesteri un garo virkņu spirtu acetāti ir lielā mērā atbildīgi par augļu aromātu vīnā (Ebeler, 2001). Etilacetāts, kas pastiprina etiķaino sidra garšu (Campo et al., 2008), tika identificēts visos raudzētajos paraugos, ar lielāko smaiļu laukumu ICV-K1 (V1116) paraugā. Visos paraugos tika identificētas trīs skābes: etiķskābe, oktānskābe un heksānskābe. Etiķskābes veidošanās bieži ir saistīta ar intensīvāku etilacetāta veidošanos (Campo et al., 2008), tomēr šajā eksperimentā tas neapstiprinājās. Heksānskābe mazās koncentrācijās tika konstatēta divos paraugos (EC-1118 un ICV-K1 (V1116)). Šī savienojuma sintēze galvenokārt saistīta ar raugu darbību, un tās koncentrācija samazinās, kad kultivēto raugu daudzums palielinās (Mateo et al., 2001).

Rezultāti parāda, ka kopējo gaistošo savienojumu laukumu lielumu un individuālo savienojumu veidu raudzētajos dzērienos ietekmēja lietotais rauga celms, un nav iespējams izdalīt būtiskas atšķirības starp sidriem, kas raudzēti ar *S.cerevisiae* un *S.bayanus* rauga sugām.



6. att. Gaistošie savienojumi sidrā atkarībā no izmantotā rauga celma /
 Fig. 6. Volatile compounds in ciders depending on used yeast strain

Sidra smaržas un garšas raksturojums. Visos analizētajos paraugos eksperti identificēja šādas garšas: etiķa skābumu, citrusaugļu skābumu, esteru (kā ābolu un bumbieru), savelkošo un piesātinātu kopējo garšu. Būtiskas atšķirības starp sidriem, kas raudzēti ar *S. bayanus* un *S. cerevisiae* rauga sugām tika identificētas tikai divos raksturlielumos – citrusaugļu un rūgtuma garšā. Eksperti identificēja asu skābumu paraugos, kas raudzēti ar EC-1118 un ICV-K1 (V1116) rauga celmu, un vieglu (maigu) skābumu, kas raksturīgs pienskābei, paraugos „Cider yeast” un 71B-1122.

Sidra sensoro īpašību intensitātes vērtējums. Būtiskas atšķirības ($p < 0,05$) starp sidra paraugiem, kas raudzēti ar dažādiem rauga celmiem, eksperti identificēja šādos sensorajos rādītājos: dzirdība, rauga aromāts, ābolu garša un skābā garša. Augstākais ābolu garšas intensitātes vērtējums bija sidram 71B-1122. Kā galvenie gaistošie savienojumi ābolu sulā tika identificēti 2-metilbutilacetāts, heksilgrupas acetāti, heksān-1-ols. Pamatojoties uz šiem rezultātiem, tika veikta korelācijas analīze starp sidra sastāvā esošajām gaistošajām vielām un augļu aromāta, ābolu garšas un smaržas intensitātes rādītājiem (3. tabula).

Ābolu aromāta intensitāte cieši korelē ar 2-metilbutilacetātu ($r=0,92$) un ar gaistošo savienojumu kopsummu, ko veido 2-metilbutilacetāts, heksilacetāts un heksān-1-ols ($r=0,99$). Datu analīzē cieša korelācija tika novērota starp analizēto ābolu aromātu raksturojošo gaistošo savienojumu kopsummu un sensorajām

īpašībām, un tas liecina, ka gaistošo savienojumu kopsumma būtiskāk ietekmē sidra sensoros rādītājus.

3. tabula / Table 3.

Korelācijas koeficienti starp paraugu sensorajiem rādītājiem un gaistošo savienojumu sastāvu / Correlation coefficients between sensory properties and content of volatile compounds

Rādītāji / Parameters	2-metilbutilacetāts / 2-methylbutyl acetate	Heksilacetāts / Hexyl acetate	Heksān-1-ols / Hexan-1-ol	Trīs vielu kopsumma / Sum of three compounds*
Ābolu aromāts / Apple aroma	0.92	0.15	0.50	0.99
Augļu aromāts / Fruit aroma	0.49	0.63	0.40	0.72
Ābolu garša / Apple taste	0.59	0.60	0.51	0.82

* 2-metilbutilacetāta, heksilacetāta un heksān-1-ola kopsumma / The sum of 2-methylbutyl acetate, hexyl acetate, hexan-1-ol

Raudzēšanas apstākļu ietekme uz sidra kvalitāti.

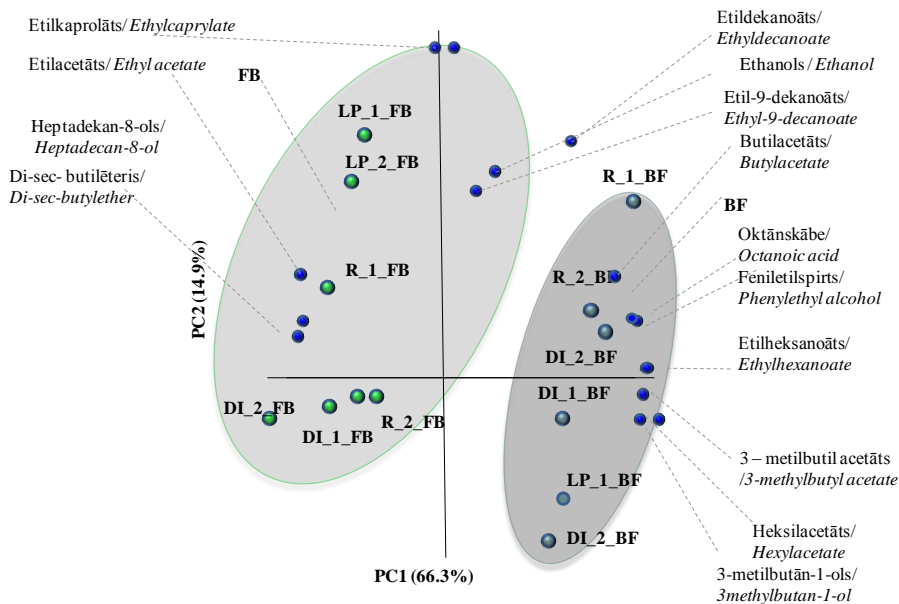
Raudzēšanai tika izvēlēts komerciāli piemērotais *S.bayanus* rauga celms EC-1118 trīs dažādās koncentrācijās, raudzēšana veikta divās dažādās temperatūrās, un rezultāti tika salīdzināti pēc astoņām un 28 raudzēšanas dienām.

Paraugos ar mazāko pievienotā rauga daudzumu tika identificēts lielāks ābolu sulas gaistošo savienojumu daudzums. Etiķskābe, butān-1-ols, 3-metilbutān-1-ols un fenilētilspirts, kas tika identificēti sidrā, ir tipiskie aktivizēta rauga gaistošo aromātvielu savienojumi. Citas aromātvielas veidojas raudzēšanas procesā. Etiķskābes saturs palielinājās raudzēšanas procesā, un augstākais saturs tika identificēts sidrā ar zemāko pievienotā rauga koncentrāciju. Augstākais gaistošo aromātvielu savienojumu saturs tika konstatēts paraugā ar zemāku rauga koncentrāciju, kas raudzēts +23 °C. Heksilacetāts un heksān-1-ols ir tipiski ābolu aromāta savienojumi, kas tika identificēti sidros, kas raudzēti ar zemāku rauga koncentrāciju un zemākā temperatūrā. Etilacetāta un butilacetāta koncentrācija sidrā bija augstāka paraugos, kas raudzēti augstākā temperatūrā. Citas esteru grupas (oktānskābes un dekānskābes etilesteri), kas veidojās raudzēšanas procesā, parādīja augstāko koncentrāciju paraugos, kas raudzēti zemākā temperatūrā.

3. Kupažēšanas ietekme uz sidra kvalitāti

Kupažēšana var nodrošināt augstvērtīgāka produkta ieguvu, jo iespējams kombinēt sulas un sidrus ar atšķirīgu skābumu, saldumu, aromātu u.c., tā panākot optimālu kvalitāti. Pētījumā kupažēšanai izmantota viena saldo ābolu šķirne ‘Auksis’, viena kreba ābolu šķirne ‘Kerr’ un trīs skābo ābolu šķirnes ‘Remo’, DI-93-4-14 un ‘Lietuvas Pepiņš’. Kupažēšana veikta gan sulām, gan jau gataviem sidriem dažādās attiecībās, lai varētu salīdzināt abu metožu ietekmi uz gatavā

produkta gaistošo savienojumu sastāvu un sensorajām īpašībām. Principiālo komponentu analīze parāda kupažēšanas veida ietekmi uz dominējošo gaistošo savienojumu izkliedi paraugos (7. att.). Gaistošie savienojumi tiek skaidroti ar trīs faktoriem, no kuriem pirmie divi skaidro 81,2 % kopējās variānsu kopas.

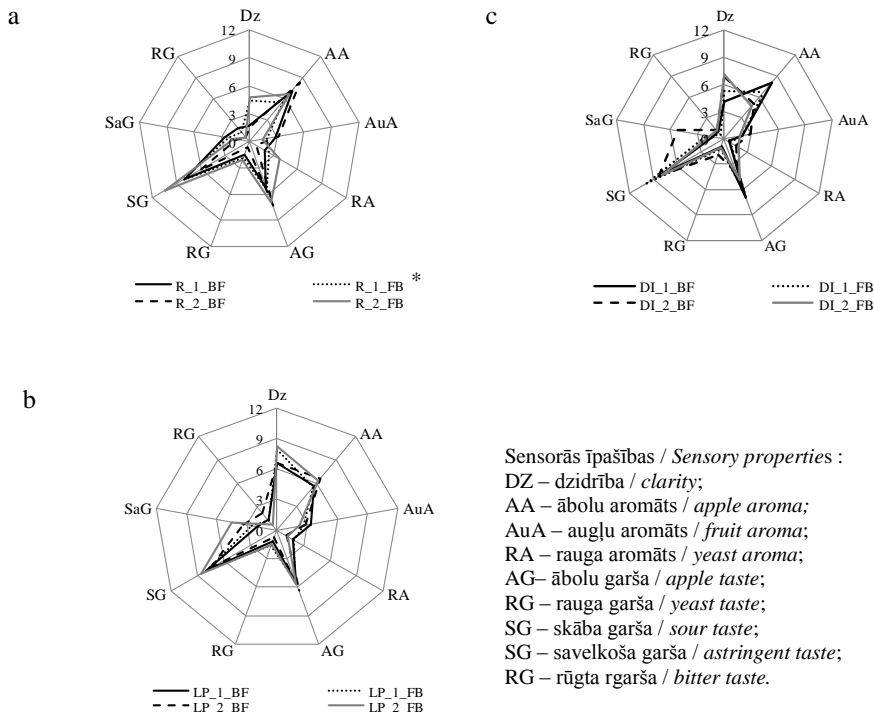


**7. att. Kupažētu sidru principiālo komponentu analīze /
Fig. 7. Principal component analysis of blended ciders**

Analīze parāda, ka dominējošie savienojumi sidros, kas kupažēti pēc raudzēšanas, ir etilacetāts, heptadekan-8-ols un di-sec-butilēteris. Savukārt paraugos, kas ir kupažēti pirms raudzēšanas, galvenie savienojumi ir butilacetāts, heksilacetāts (zāles, augu, augļu un vīnogu aromāts), 3-metilbutilacetāts (banānu, augļu aromāts), 3-metilbutān-1-ols, etilheksān-1-ols (augļu, zemeņu, zaļu ābolu, anīsa aromāts), oktānskābe (sasmacis aromāts), feniletilspirts (patīkams rozēm līdzīgs aromāts (Cometto-Muniz and Cain, 1995) un butilacetāts. Sidra kvalitātei ir būtiska katra gaistošā savienojuma saturs un mijiedarbība ar citiem gaistošajiem savienojumiem.

Sidru sensoro īpašību novērtējums atspoguļots 8. attēlā. Saskaņā ar dispersijas analīzi kupažas metodes ietekme bija būtiska ($p < 0,05$) attiecībā uz visām sensorajām īpašībām. Pētījumā kā vēlamās sidra īpašības noteica ābolu aromātu un garšu un augļu aromātu, kā nevēlamās – rauga garšu un rauga aromātu. Sidriem R_2_BF un DI_1_BF ir intensīvāks ābolu aromāts un garša un augļu aromāts. Šiem paraugiem ir

arī neizteiktāka rauga smarža un garša. Paraugiem DI_2_FB un DI_2_BF bija mazāka ābolu aromāta un garšas un augļu aromāta intensitāte un rūgtā garša.



*Apzīmējumu atšifrējumi 1 tabulā / *Abbreviations transcription in Table 1*

8. att. Kupāžētu sidru sensoro īpašību staru diagrammas / Fig. 8. Star diagrams for sensory properties of blended cider samples

Mijiedarbība starp diviem faktoriem – kupāžas veidu un ābolu šķirni – bija nozīmīga visām sensorajām īpašībām, izņemot ābolu garšu. Sensoro īpašību novērtējums parādīja, ka paraugi, kas gatavoti no šķirnes ‘Remo’ ābolu sulas, bija dzidrāki un ar izteiktāku ābolu aromātu, bet paraugiem, kas gatavoti no hibrīda DI-93-4-14 āboliem, ir neizteiktāka rauga smarža.

Ābolu sulas kupāžu fizikālo un ķīmisko rādītāju dinamika rūgšanas procesā

Ābolu sulas kupāžu fizikālo rādītāju un ķīmiskā sastāva izmaiņas rūgšanas procesu ietekmē tika analizētas sešu veidu kupāžām. pH vērtība pēc rauga pievienošanas palielinās, trešajā raudzēšanas dienā strauji krīt, un tad pakāpeniski notiek pH vērtības palielināšanās. Arī pētījumā par vīna raudzēšanu iegūti līdzīgi rezultāti. pH samazinās pirmās 50 raudzēšanas stundas, un pēc tam nākamās

100 stundas tas atkal aug. pH samazinājums saistīts ar to, ka raugi, izmantojot slāpekli, veido H⁺ jonus (Akin et al., 2008), un Hernandez-Orte et al. (2006) pētījums parāda, ka slāpekli galvenokārt tiek izmantots pirmajās 50 raudzēšanas stundās.

4. tabula / Table 4

Nozīmīgāko gaistošo savienojumu izmaiņas rūgšanas procesā /
Changes of the main volatile compounds during fermentation, %

Savienojumi / Compounds	Sula	Raudzēšanas dienas / Days of fermentation							
		1	3	7	14	21	28	35	42
Etanols / Ethanol	0.0	0.0	1.4	2.3	2.9	5.3	7.6	10.6	18.0
Butilacetāts / Butyl acetate	8.8	8.5	5.4	2.7	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0
2-metilbutān-1- ola acetāts / 2 methyl butan-1- ol acetate	18.9	17.6	8.5	7.9	3.3	2.7	2.4	0.2	0.0
3-metilbutān-1- ols / 3-methyl butan-1-ol	0.0	0.0	5.8	6.5	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Butilbutanoāts / Butyl butanoate	10.6	13.2	6.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Heksilacetāts / Hexyl acetate	24.7	25.9	38.0	31.6	13.3	9.3	2.5	7.3	0.0
Heksān-1-ols / Hexan-1-ol	7.7	12.3	7.5	7.1	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Etiloktanoāts / Ethyl octanoate	0.0	0.0	8.9	18.6	45.1	44.2	29.5	32.6	34.3
Etildekanoāts / Ethyl decanoate	0.0	0.0	3.1	2.6	5.6	15.3	24.7	33.2	37.9
Feniletilspirts / Phenylethyl alcohol	0.0	0.0	0.8	3.1	3.0	3.8	10.1	0.0	0.0

Kopējā skābju satura izmaiņas paraugos ir nelielas, bet pētījumi par vīniem parāda, ka raudzēšanas procesā kopējās skābes pieaug (González-Marco et al., 2008). Kopējais fenolu saturs raudzēšanas laikā būtiski nemainās. Analizējot nozīmīgo gaistošo savienojumu izmaiņas, redzams, ka sulā esošie savienojumi (butilacetāts, 1-butanol-2-metilacetāts, 2-metil-2-etilpropilpropionāts, pentilacetāts, heksilacetāts, heksān-1-ols, heksilbutanoāts) rūgšanas laikā samazinās. Raudzēšanas trešajā dienā ir intensificējies rūgšanas process, un viena no identificētajām aromātvielām ir 3-metil-1-butānols, kas ir arī viena no aktivizēta rauga galvenajām gaistošajām vielām (4. tabula).

Pētījumi par vīniem parāda, ka pieci gaistošie savienojumi, kas veidojas rūgšanas procesā (etilaktāts, oktānskābe, etilheksanoāts, izoamilacetāts un etiloktanoāts) ir nozīmīgi aromātu veidojoši savienojumi 'Menia' vīnos (Añón et al., 2013). Sākot ar

trešo raudzēšanas dienu, tvaika fāzē var identificēt etanolu, un rūgšanas procesā tā saturs palielinās. Arī feniletilspirts ir viena no rauga raksturīgām aromātvielām, un to var identificēt paraugos, sākot ar trešo dienu. Rūgšanas procesā kā galvenie savienojumi veidojas esteri, no tiem nozīmīgākie ir etiloktanoāts un etildekanoāts.

4. Nogatavināšanas procesa ietekme uz sidra kvalitāti

Sidra sensorās īpašības iespējams uzlabot nogatavināšanas procesā, izmantojot papildu tehnoloģiskos procesus. Pētījumā pēc pamatrūgšanas sidram pievienotas pienskābes baktērijas *Oenococcus oeni* (turpmāk – pienskābes baktērijas) un ozolkoka skaidas, lai pārbaudītu to ietekmi uz gala produkta kvalitāti. Pētījumā izmantots ābolu sidrs, kas iegūts, raudzējot kupažētu ābolu sulu (šķirņu ‘Aukšis’, ‘Lietuvas Pepiņš’, ‘Kerr’ ābolu sulu attiecībā 2:1:2). Nogatavināto sidru pamatrādītāji parādīti 5. tab.

Rezultāti parādīja, ka paraugam, kam pievienotas pienskābes baktērijas, ir būtiski ($p < 0,05$) zemākas kopējās skābes un augstāks pH, kā arī šajā paraugā sausnas saturs ir būtiski zemāks nekā citos pētītajos paraugos

5. tabula / Table 5

Nogatavināta sidra kvalitātes rādītāji / Quality parameters of matured ciders

Paraugš / Sample	Kopējās skābes / Total acids, g L ⁻¹	Sausna / Solids, g L ⁻¹	Spirts tilp. % / Alcohol, vol %	pH
K*	7.85±0.31 ^{d**}	0.87±0.06 ^b	5.58±0.23 ^{a b}	3.42±0.06 ^a
P	3.99±0.21 ^a	0.65±0.08 ^a	5.60±0.21 ^b	3.72±0.02 ^b
S	7.16±0.25 ^c	0.85±0.05 ^b	5.52±0.25 ^a	3.39±0.01 ^a
GS	6.97±0.19 ^b	0.84±0.06 ^b	5.54±0.20 ^{a b}	3.36±0.01 ^a

* K – kontroles paraugs / control sample;

P – paraugs, kam pievienotas pienskābes baktērijas / sample with added lactic acid bacteria;

S – paraugs izturēts ar negraudzētām ozolkoka skaidām / sample matured with unroasted oak chips;

GS – paraugs izturēts ar vidēji graudzētām skaidām / sample matured with a medium roasted chips.

** Dažādie burti vienā kolonnā apzīmē būtiski nozīmīgas atšķirības starp vērtībām (Tjūkija tests, $p < 0,05$) / The different letters in the same column represents significant differences between values (Tukey's test, $p < 0.05$).

Spirta saturs un pH ir būtiski faktori, kas ietekmē pienskābes baktēriju augšanu un aktivitāti. Solieri et al. (2010) pētījumi parāda, ka zems pH vīnā būtiski ($p < 0,05$) negatīvi ietekmē pienskābo rūgšanu. Ozolkoka skaidu pievienošana nogatavināšanas procesā būtiski ($p < 0,05$) ietekmē kopējo skābju saturu.

Analizētajos sidros kopējais fenolu saturs ir robežās no 1028 mg L⁻¹ paraugā P līdz 1526 mg L⁻¹ paraugā GS, un būtiski ($p < 0,05$) augstāks kopējais fenolu saturs ir paraugos, kas izturēti ar ozolkoka skaidām.

Hlorogēnskābe ir nozīmīgākais identificētais fenolu savienojums visos sidra paraugos (6. tabula). Lielākais hlorogēnskābes saturs tika identificēts K paraugā,

savukārt mazākais P paraugā. Cabrita et al. (2008) pētījumā par vīniem pēc ābolskābes pienskābās rūgšanas galluskābes, ferulskābes, kafijskābes saturs palielinājās, bet vanilīnskābes un ceriņskābes saturs saglabājās gandrīz nemainīgā līmenī. Paraugos S un GS tas būtiski samazinājās. Arī Figueiredo-Gonzalez et al. (2014) pētījumā vīna nogatavināšanas laikā ozolkoka mucās katehīna un epikatehīna saturs samazinās.

GS paraugā bija būtiski augstāks kafijskābes, epikatehīna, ferulskābes un vanilīna saturs. Skaidu grauздēšanas pamatā lignīns un celulozes polimēri, ko satur skaidas, augstā temperatūrā veido aldehīdus, fenolus, furfurola atvasinājumus, laktonus un citus savienojumus (Nonier et al., 2006). Arī Bozalongo et al. (2007) pētījumi parāda, ka ozolkoka grauздēšana palielina lignīna termiskās noārdīšanās savienojumu (vanilīna, eugenola u.c.) saturu.

6. tabula / Table 6

**Fenolu savienojumu saturs nogatavinātā sidrā /
Content of phenolic compounds in matured ciders, mg L⁻¹**

Savienojumi / Compounds	K	P	S	GS
Hlorogēnskābe / Chlorogenic acid	191.25±9.56 ^{bd}	167.08±7.96 ^a	190.69±9.08 ^{bd}	188.41±6.28 ^b
Kafijskābe / Caffeic acid	6.10±0.29 ^b	4.55±0.23 ^a	6.96±0.33 ^b	23.83±0.88 ^c
Ceriņskābe / Syringic acid	7.03±0.25 ^b	6.38±0.24 ^a	8.20±0.30 ^c	6.20±0.31 ^a
Vanilīns / Vanillin	0.44±0.02 ^a	0.82±0.03 ^b	0.86±0.04 ^b	1.61±0.07 ^c
4-hidroksibenzoskābe / 4-hydroxybenzoic acid	0.30±0.02 ^b	0.17±0.01 ^a	0.86±0.03 ^d	0.35±0.01 ^c
Katehīns / Catechin	2.82±0.12 ^d	3.26±0.13 ^c	0.78±0.03 ^a	1.18±0.06 ^b
Epikatehīns / Epicatechin	0.27±0.01 ^d	0.08±0.01 ^b	0.05±0.01 ^a	3.16±0.14 ^c

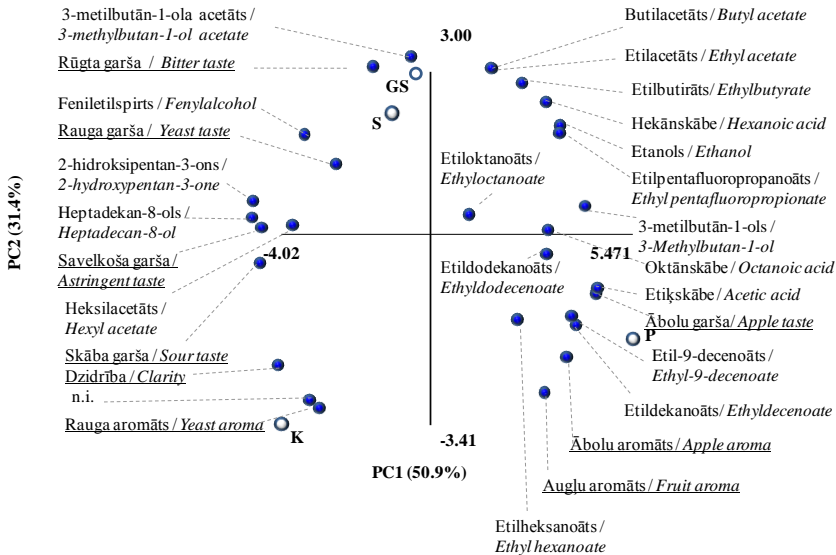
* n.i. – nav identificēts / not identified.

** Dažādie burti vienā rindā apzīmē būtiski nozīmīgas atšķirības starp vērtībām (Tjūkija tests, p<0,05) / The different letters in the same row represents significant differences between values (Tukey's test, p<0.05)

Paraugā S tika identificēts vislielākais 4-hidrobenzoskābes saturs, kas sakrīt ar Cadahia et al. (2009) pētījumu, kur hidrobenzoskābes un tās atvasinājumu saturs palielinājās, nogatavinot vīnus ar franču ozolkoka skaidām.

Dispersijas analīzes rezultāti parāda būtisku (p<0.05) atšķirību visos sensorajos rādītājos, izņemot augļu aromāta intensitāti. Ar pienskābes baktēriju pievienošanu nogatavinātais sidrs ir nedzidrākais, ar intensīvāko ābolu aromātu un garšu, ar mazāko savēlkošās, rauga un skābās garšas intensitāti. Ar negrauздētām un vidēji grauздētām ozolkoka skaidām nogatavinātais sidra paraugs uzrādīja lielāku rūgtās garšas un mazāku skābās garšas intensitāti.

Veicot principiālo komponentu analīzi gaistošajiem un sensorajiem rādītājiem, rezultāti parāda, ka gaistošo savienojumu satura atšķirības var skaidrot ar trīs faktoriem, no kuriem pirmie divi parāda 82,3 % kopējās varianšu kopas (9. att.).



9. att. Nogatavināta sidra gaistošo savienojumu un sensoro īpašību principiālo komponentu analīze /

Fig. 9. Principal component analysis of volatile compounds and sensory properties in matured ciders

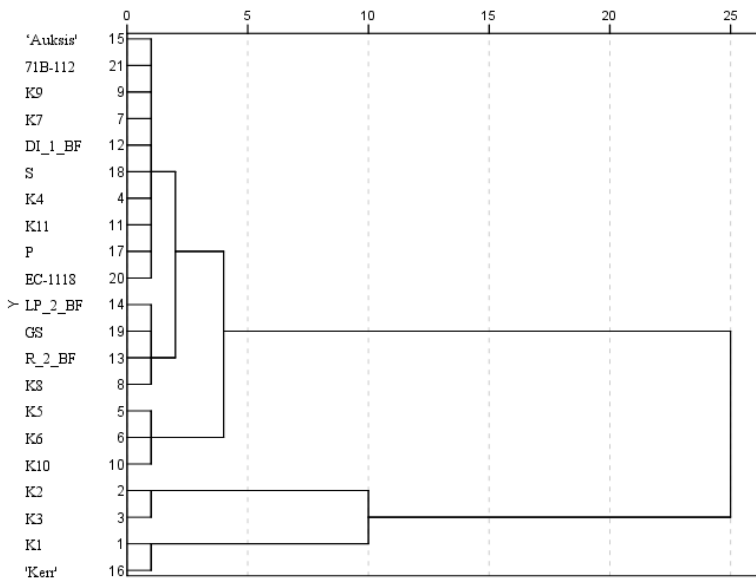
Rezultāti parāda, ka atšķirīgas sidra nogatavināšanas tehnoloģijas ietekmē gaistošo savienojumu sastāvu sidrā. Paraugs K tiek raksturots ar intensīvāko skābo garšu un intensīvāko rauga aromātu. Paraugs P tiek raksturots ar intensīvāko augļu, ābolu aromātu un intensīvāko ābolu garšu. Paraugā P dominējošās gaistošās vielas ir etiķskābe, etil-9-dekanoāts, etildekanoāts, oktānskābe, etilheksanoāts, un kopumā šajā paraugā dominē attiecīgi salds, eļļas, augļu (vīnogu), ziedu aromāts, mazāk – sasmacis, rūgtens, ziepju, vaska aromāts. Sarindošanas testa sensorie rezultāti parāda, ka vislabāk tiek novērtēts paraugs, kas nogatavināts, pievienojot pienskābes baktērijas *Oenococcus oeni*.

5. Pētījumā iegūto un komerciālo sidru salīdzinājums

Pētījumā iegūto sidru kvalitātes rādītājus ir būtiski salīdzināt ar tirdzniecībā pieejamo komerciālo sidru rādītājiem. Pētījumā salīdzināts sidru fenolu un gaistošo savienojumu kvalitatīvais un kvantitatīvais saturs.

Fenolu savienojumi. Kopējo fenolu saturs komerciālajos sidros ir robežās no 324,24 mg L⁻¹ (K10) līdz 3831,33 mg L⁻¹ (K2). Eksperimentālajos sidros kopējais fenolu saturs bija līdzīgs – 793 līdz 3399 mg L⁻¹. Kopējais fenolu saturs Francijā ražotajos sidros (K1, K2, K3) bija lielāks, kas sakrīt ar Alonso-Salces et al. (2005) pētījumu, kur kopējais fenolu saturs franču sidrā bija 143–2488 mg L⁻¹ un būtiski mazāks tas bija basku sidrā 24–331 mg L⁻¹. Fenolu saturs sidrā galvenokārt atkarīgs

no izmantotajām ābolu šķirnēm un sidra gatavošanas tehnoloģijas. Hierarhijas klasteru analīze izmantota, lai sagrupētu komerciālos un pētījumā iegūtos sidrus (10. att.).



10. att. Komerciālo un pētījumā iegūto sidru dalījums klasteros pēc fenolu satura /

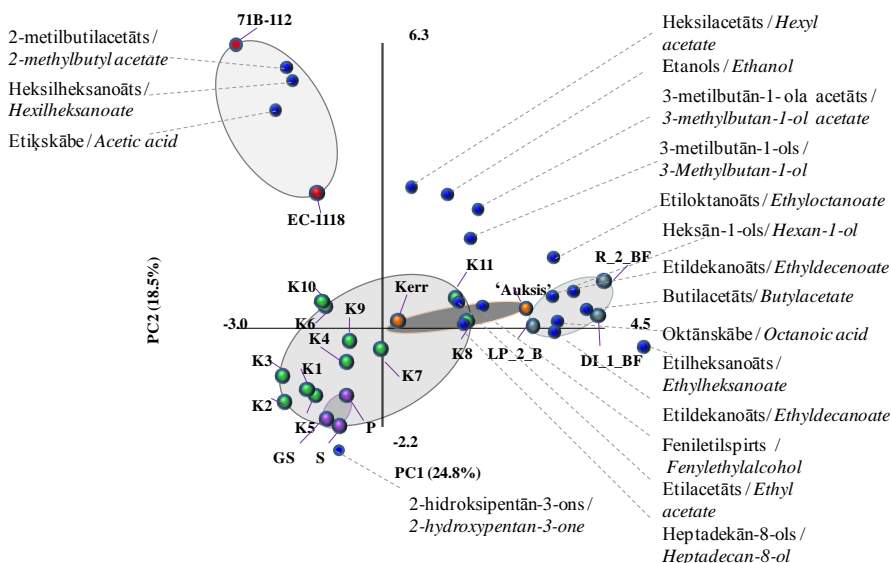
Fig. 10. Division of the commercial and experimental ciders in clusters based on phenolic content

Pirmais klasteris ietver rūpnieciski ražotos sidra dzērienus, šķirnes 'Auksis', kupažētos, ar dažādiem raugiem raudzētos, nogatavinātos sidrus un Latvijas mazo vīna darītavu sidrus, kas liecina par līdzīgu fenolu saturu. Otrais klasteris ietver rūpnieciski ražotos sidrus K5 („Upcider apple cider natural”), K („Savanna dry Premium cider”) un K10 („Lucky Dog Apple”), kas tirgū pazīstami kā gāzēti sidri ar izteiktu aromātu un saldu garšu. Trešais un ceturtais klasteris ietver sidrus ar visaugstāko fenolu saturu, un tie ir Francijā ražoti sidri K2 („Cidre Bouche Doux Lieblich”) un K3 („Cidre Bouche Pierre Huet”), kuriem ir lielākais fenolu saturs. Savukārt ceturtais klasteris ietver K1 („Cidre Bouche Brut De Normandie”) sidru un pētījumā iegūto 'Kerr' šķirnes ābolu sidru. No rezultātiem var secināt, ka fenolu saturs gan komerciālajiem sidriem, gan pētījumā iegūtajiem sidriem ir līdzīgs, kas pamatojas uz izmantotajiem šķirnes āboliem un ražošanas tehnoloģijām. Francijas sidri satur lielāku fenolu saturu, un līdzīgu fenolu daudzumu satur 'Kerr' kreba šķirnes sidrs.

Gaistošie savienojumi. Izvērtējot komerciālo sidru gaistošo savienojumu saturu, tika identificēti 33 gaistošie savienojumi. Franču sidros tika identificēts mazākais gaistošo vielu saturs. Lielākais gaistošo aromātvielu saturs tika identificēts K11.

Nozīmīgākie gaistošie savienojumi visos paraugos ir spirti un esteri. Gaistošo spirtu procentuālais saturs ir robežās no 6,53% (K10) līdz 74,05% (K9). Etanols, 3-metilbutān-1-ols un feniletilspirts ir raksturīgākie gaistošie spirti komerciālajos sidros, līdzīgi savienojumi tika identificēti arī pētījumos iegūtajos sidros.

Esteru savienojumu saturs procentos no kopējiem gaistošajiem savienojumiem sidra paraugos ir robežās no 18,81% (K3) līdz 73,61% (K5). Raksturīgākie sidra esteri ir acetāti un etilesteri, kas veido augļaino sidra aromātu. Etilakapolāts, heksilacetāts, etilheksanoāts, 3-metilbutilacetāts un etildekanoāts ir galvenie savienojumi, kas raksturīgi komerciālajiem sidriem un kas raksturīgi arī pētījumos iegūtajiem sidriem. Principiālo komponentu analīze pēc summārās dispersijas rezultātiem – pirmie divi faktori izskaidro attiecīgi ar 24,8 % un 18,5% kopējās variānsu kopas (11. att.).



11. att. Pētījumā iegūto un komerciālo sidru gaistošo savienojumu rādītāju principiālo komponentu analīze /

Fig. 11. Principal component analysis of volatile compounds properties of experimental and commercial ciders

Pētījumā iegūto ar dažādiem raugiem raudzēto sidru, kupazēto sidru un komerciālo sidru paraugu lielā izkliede liecina par atšķirīgu gaistošo savienojumu profilu analizētajos sidros. Ar pienskābes baktēriju *Oenococcus oeni* un ozolkoka skaidām nogatavinātie sidri uzrāda līdzīgu gaistošo vielu saturu ar Francijas sidriem. Francijas sidriem ir raksturīga pienskābā rūgšana, kas norisinās raudzēšanas un nogatavināšanas laikā ozolkoka mucās (Swaffield et al., 1997). Savukārt kreba

šķirnes 'Kerr' sidra paraugs uzrāda līdzīgu gaistošo savienojumu profilu ar Latvijā ražotajiem sidriem K7 („Abavas sidrs”, pussaldais) un K9 („Sables sidrs”).

SECINĀJUMI

1. Dažādu šķirņu ābolu sulas pēc šķīstošās sausnas, kopējā cukuru un skābes satura iedalās divos klasteros. Pirmais klasteris ietver kreba šķirņu ābolu sulas ar lielāko šķīstošās sausnas, kopējo cukuru un skābes saturu. Savukārt otrais klasteris ietver gan lielaugļu šķirņu ābolu, gan kreba šķirņu ābolu sulas. Ābolu sulu ķīmisko sastāvu ietekmē ābolu šķirne, nevis veids – lielaugļu vai kreba āboli.
2. Dažādu šķirņu ābolu sidriem fizikāli ķīmiskie rādītāji ir būtiski ($p < 0,05$) atšķirīgi. Ābolu sulu fizikāli-ķīmiskie rādītāji ietekmē sidra gaistošo savienojumu sastāvu. Fenolu saturu ietekmē ābolu veids – kreba vai lielaugļu šķirnes āboli. Augstākie ābolu garšas, ābolu un augļu aromāta intensitātes rādītāji bija gan lielaugļu šķirņu ābolu sidriem ('Auksis' un 'Antonovka'), gan kreba šķirnes sidriem ('Kerr' un K-8/9-24).
3. Rauga celmi, kas izmantoti raudzēšanai, būtiski ($p < 0,05$) ietekmē sidra ķīmisko sastāvu. Pētījumos par 'Lietuvas Pepiņš' ābolu sidriem par vislabāko tika atzīts paraugs, kas raudzēts ar 71B-1122 rauga celmu, jo tam bija augstākais gaistošo vielu saturs, intensīvākā ābolu un augļu smarža, kā arī ābolu garša.
4. Paraugos ar mazāko pievienotā rauga daudzumu tika identificēts lielāks ābolu sulas gaistošo savienojumu daudzums. Augstākais gaistošo aromātvielu savienojumu saturs tika konstatēts paraugā ar zemāku rauga koncentrāciju, kas raudzēts +23 °C temperatūrā. Heksilacetāts un heksān-1-ols ir tipiski ābolu aromāta savienojumi, kas tika identificēti sidros, kas raudzēti ar zemāku rauga koncentrāciju un zemākā temperatūrā.
5. Sidriem, kas kupažēti pēc raudzēšanas, tika noteikts lielāks gaistošo savienojumu saturs, savukārt sidra paraugiem, kas kupažēti pirms raudzēšanas, bija intensīvāks augļu aromāts, ābolu aromāts un garša, kā arī lielāks augļu aromātu veidojošo esteru saturs.
6. Raudzēšanas procesā, sākot ar ceturto dienu, sāk sintezēties raugu metabolīti, savukārt ābolu sulas raksturīgie gaistošie savienojumi zūd pēc 21–35 raudzēšanas dienām, un tas arī nosaka gatavā produkta fizikāli ķīmiskos rādītājus un sensorās īpašības.
7. Pienskābes baktēriju *Oenococcus oeni* pievienošana sidra nogatavināšanas laikā samazina kopējo skābju, sausnas, kopējo fenolu un gaistošo savienojumu saturu un palielina pH. Ar pienskābes baktēriju *Oenococcus oeni* pievienošanu nogatavinātais sidrs ir ar intensīvāko ābolu aromātu un garšu, ar mazāko savelkošās, rauga un skābās garšas intensitāti.
8. Sidrā, kas nogatavināts ar negraudzētām ozolkoka skaidām un vidēji graudzētām skaidām, samazinās kopējais skābju saturs un palielinās kopējais fenolu saturs.

Izturēšana uz ozolkoka skaidām, ietekmē gaistošo vielu attiecību, proti, esteru saturs un gaistošo skābju saturs palielinās, savukārt spirtu saturs samazinās. Ar negrauzdētām un vidēji grauzdētām ozolkoka skaidām nogatavinātais sidra paraugs uzrādīja lielāku rūgtās garšas un mazāku skābās garšas intensitāti.

9. Fenolu un gaistošo savienojumu satura ziņā pētījumā iegūtie sidri ir līdzīgi pētītajiem komerciālajiem sidriem. Augstākais fenolu saturs ir Francijā ražotajos sidros un 'Kerr' šķirnes sidrā. Ar pienskābes baktērijām *Oenococcus oeni* un ozolkoka skaidām nogatavinātie sidri uzrāda līdzīgu gaistošo vielu saturu ar Francijas sidriem. Savukārt kreba šķirnes 'Kerr' sidra paraugs uzrāda līdzīgu gaistošo savienojumu profilu ar Latvijā ražotajiem sidriem K7 („Abavas sidrs”, pussaldais) un K9 („Sabiles sidrs”).
10. Pētījumā iegūtie dati apstiprina izvirzīto hipotēzi – šķirnes ābolos esošie fenolu savienojumi un gaistošie savienojumi, kas rodas sidra gatavošanas procesā, ietekmē gatavā produkta kvalitāti.

IETEIKUMI RAŽOTĀJIEM

1. Kvalitatīva sidra iegūšanai nepieciešams veidot kupāžas, ietverot lielaugļu ābolu šķirnes ar augstu cukura un šķīstošās sausas saturu ('Lietuvas Pepiņš', 'Remo', DI-93-4-14), kreba šķirnes ar augstu fenolu saturu ('Riku', 'Cornelie') un savelkošu garšu ('Cornelie', 'Hyslop'), kā arī šķirnes ar izteiktu ābolu garšu un aromātu: lielaugļu šķirnes 'Auksis', 'Antonovka' un kreba šķirnes 'Kerr', K-8/9-24.
2. Kupāžu veidošanā nozīmīgs faktors ir ne tikai izmantotās šķirnes sulas, bet arī to proporcijas. Labākā proporcija atkarīga no izmantotajām ābolu šķirnēm. Kupāžās ar 'Auksis', 'Remo', 'Kerr' un 'Auksis', 'Lietuvas Pepiņš', 'Kerr' ābolu sulu labākos rezultātus parādīja sidri ar proporciju 2:1:2, bet 'Auksis', DI-93-4-14, 'Kerr' proporcija 1:1:1. Kopumā labākus rezultātus parādīja sidri, kas gatavoti, izmantojot 'Remo' šķirnes ābolu sulu.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

In Latvia, apples take the first place in the total production volume of fruits and berries. More than 87 apple tree varieties are grown in Latvia for market needs, among which 10 varieties are the most popular. In 2012, approximately 9.4 thousand tons of apples were produced in Latvia², most of which were sold fresh. The apple processing market in Latvia has not stabilized and it is not saturated. Apple juice, juice concentrates, jams, homemade wine, cider and other products are produced in small quantities. The orchard industry of Latvia lacks a thought-out concept for growing of apple varieties suited for various processing methods; at present, mainly dessert apple are grown, which are sold fresh, whereas apples intended for processing are not being produced. The insufficient selection of apple varieties and the variable agroclimatic conditions limits the possibilities of developing small alcoholic beverage manufacturing companies. There is an increasing interest in Latvia in the possibility of growing crab apples suitable for wine and cider production. At present it is difficult to obtain data regarding the volume of apple processing in Latvia, including the production of cider, but the data show that in 2012 the small producers of alcoholic beverages produced thrice as much alcoholic beverages as in 2011 (Alkoholisko..., 2013), which gives an evidence to rapidly-growing interest in developing this niche.

The term “cider” in Europe refers to a beverage whose main component is fully or partially fermented apple juice. Development of apple cider production would give Latvian apple growers an opportunity to sell apples, give producers the opportunity to develop a new market niche, and would expand the selection of light alcoholic beverages for consumers.

Consumers judge the quality of apple cider mainly by its sensory characteristics (taste, smell, appearance), which are affected by physical and chemical characteristics, such as the content of sugar, acid, phenolic, volatile compounds.

Apples are fruits with a high content of phenolic compounds (Boyer and Liu, 2004), which are slightly lost in the process of juice extraction (Lachman et al., 2006) and fermentation (Picinelli Lobo et al., 2009). The content of phenolic compounds in cider is affected by the apple variety (Alonso-Salces et al., 2005) and the processing methods (Lea, 1995). Phenols have a significant effect on the quality of cider; their amount determines the overall taste of the beverage, as they are associated with its colour and bitter taste (Alonso-Salces et al., 2001). Among the main cider quality indicators are volatile aroma compounds, which together with sugars and acids form an overall taste bouquet. The quantitatively most important volatile compounds in apple wine are long-chain alcohols, esters, and low molecular weight fatty acids (Vidrih and Hribar, 1999). The amount of volatile compounds formed during fermentation depends on the composition of the fermented juice, the fermentation conditions and the yeast strain used (Regodon et al, 2006).

² Apples production [Skatītis 01.02.2014.] Pieejams / Available: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&code=tag00036&plugin=0>

In cider production, regardless the selected variety of apples or blends, it is more important to select the most suitable technological methods of cider fermentation, including the selection of the best yeast culture and maturation conditions, which ensures a basis for a high-quality end product with the best sensory characteristics. The applied yeast strain significantly affects the taste, aroma, colour and chemical composition of fermented beverages (Guth 1997; Romano *et al.*, 2003; Bellon *et al.*, 2011). Malolactic fermentation significantly affects the sensory characteristics of cider, as it reduces the bitter taste of wine, softening sharp taste nuances, simultaneously reducing the content of malic acid and increasing pH and CO₂ content. Holding cider on oak chips of various origins and roasted in various ways positively affects the amount of volatile substances in beverages, as well as the beverage's sensory characteristics and polyphenol content.

The study is topical, because of currently unrealized potential in apple processing for beverage production in Latvia. The research results will give an overview of chemical composition of apple varieties grown in Latvia and their suitability for cider production; in addition, the effect of various technological processes on cider quality will be examined.

The **hypothesis** of the doctoral thesis: phenolic compounds of variety apples and volatile compounds formed in the cider production process affect the quality of the finished product.

In order to prove the advanced hypothesis the **aim** of the doctoral thesis is to evaluate the effect of the ingredient content, fermentation, maturation and blending processes on the quality of apple cider.

The **research object** of the thesis is dessert apple and crab apple juice and cider.

Research objectives.

1. To compare the physical parameters and chemical composition of the juice of dessert apples and crab apples grown in Latvia and ciders produced from them.
2. To determine the effect of the yeast strain and the fermentation conditions on the quality of cider.
3. To investigate the effect of blending on the formation of cider volatile compounds and sensory properties.
4. To investigate the effect of lactic acid bacteria *Oenococcus oeni* and oak chips on the quality of cider.
5. To classify the ciders obtained during the research and commercial ciders according to the content of phenolic and volatile compounds.

The hypothesis is supported by following **theses**:

1. The apple juice composition of the selected varieties determines the quality of the cider.
2. The selected yeast strain and fermentation conditions significantly affect the content of volatile compounds in cider.

3. For optimization of the composition of apple juice and obtaining of better sensory characteristics of cider, it is necessary to create blends of different variety apple juices or ciders.
4. Lactic acid bacteria and oak chips added during maturation process affect the content of phenolic and volatile compounds in cider.
5. The content of phenolic and volatile compounds significantly differs in the ciders obtained during the research and commercial ciders.

The **novelty** and **scientific significance** of the doctoral thesis.

1. The phenolic and volatile compound composition of cider of apple varieties grown in Latvia has been researched.
2. A scientifically grounded technology based on research data has been developed for the suitability of apple varieties grown in Latvia for production of ciders.
3. It has been proven that dessert apples can be used to obtain high-quality cider.

The **economic significance** of the dissertation.

1. The results of the study can be used by fruit growers for selection of apple varieties suitable for commercial plantations for cider production.
2. Dessert apple varieties grown in Latvia can be used for cider production.
3. Research of phenolic and volatile compounds helps manufacturers select ingredients and suitable parameters of technological processes for the production of high-quality cider.

This research has been done within the State Research Programme “Sustainable use of local resources (earth, food, and transport) – new products and technologies (NatRes)” (2010-2013) Project no. 3. „Sustainable use of local agricultural resources for development of high nutritive value food products (Food)”, and ESF project “Support for the implementation of LLU doctoral studies” contract No. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

APPROBATION OF THE RESEARCH

The results of the research were summarized and published in 3 subchapters of a monograph, and 11 peer reviewed scientific publications.

The results of the research have been presented in 11 international scientific conferences and congresses in Latvia, Lithuania, Estonia, Poland, Greece, Serbia, the Netherlands, as well as in V European Scientific Open Forum ESOF 2012 (Dubin, Ireland), the exhibitions “Riga Food 2011”, ”Riga Food 2013” (the list of publications and attended conferences see on pages 6–9).

MATERIALS AND METHODS

Time and place of the research

The experiments were carried out from 2010 until 2013 at:

1. Latvia University of Agriculture, the Faculty of Food Technology, the Department of Food Technology, the Laboratory of Food Product Analysis, (cider fermentation and storing, determination of the content of alcohol and soluble solids), the Research Laboratory of Packaging Material Properties (content of soluble solids, density, pH, content of total acids, content of volatile compounds, content of total phenols), the Scientific Laboratory of Microbiology (determination of yeast and lactic acid bacteria cells count), the Laboratory of Food Product Sensory Evaluation (sensory evaluation of ciders);
2. Latvia University of Agriculture, the Faculty of Food Technology, the Department of Chemistry, the Scientific Laboratory of Natural Substances Chemistry (determination of individual phenolic compounds and sugars);
3. Experimental Fruit Processing Laboratory of the Latvia State Institute of Fruit-Growing (extraction of apple juice) and the Biochemical Laboratory (determination of content of apple soluble solids, total amount of acids, firmness, starch index, content of tannins).

Materials used for the research

Apples grown in the Latvia State Fruit-Growing Institute and Pure Horticultural Research Centre, harvested in September and October of 2010, 2011, 2012. Apples were harvested and then stored in the storeroom for 1–2 weeks at $+3\pm 1$ °C with relative air humidity 90–95%. The varieties of dessert apples ('Auksis', 'Antonovka', 'Merry Gold', 'Lietuvas Pepiņš', 'Remo', DI-93-4-14 (No. 14)) and crab apples ('Kerr' 'Kuku', 'Quaker Beauty', 'Riku', 'Hyslop', 'Cornelie', 'Ruti' and K-8/9-24) were used in the research.

Fermentation was performed using four commercially available yeast strains (*Saccharomyces bayanus* yeast strain EC-1118, *Saccharomyces bayanus* yeast "Cider yeast", *Saccharomyces cerevisiae* yeast 71B-1122, *Saccharomyces cerevisiae* yeast strain ICV-K1 (V1116). For juice sulfitation and stabilization the agent "Tannisol" ("Enartis", Italy) was used.

During maturing process lactic acid bacteria (*Bacillus Malolactic Bacteria Culture Oenococcus oeni*) ("Lalvin", France), unroasted oak chips "French Oak Chips" ("Young's Brew", Great Britain) and medium-roasted oak chips "American oak chips" ("Browland", Belgium) were added to ciders.

The 11 commercial ciders produced in various countries were compared with experimental samples.

Cider production technology

Cider production technology included extraction of juice, its fermentation and maturation. Apples were grated into chips of 7×5 mm on average, using a grate. Apple juice was obtained by a hydraulic juice press "Basket Press 60K" ("Vorán Maschinen" GmbH, Austria); the basket diameter of it was 400 mm, the average thickness of one layer apple mass was 150 mm with four shims, the pressure was

220–260 bar. “Tanissol” (10 g 100 L⁻¹) was added right after the juice extraction process, and the juice was let to stand for 24 hours.

The ciders were fermented using four commercial yeast types and two fermenting temperatures. Fermentation was carried out

- in 0.75 L glass bottles in 5 repetitions,
- in 5.00 L glass bottles in 3 repetitions.

After fermentation cider was decanted from yeast sediments, poured in dark 0.75 L glass bottles and corked.

Research structure

The research analysis was carried out in five stages and physical, chemical, microbiological and sensory properties were tested. The overall research structure is shown in Figure 1.

Stage I: Evaluation of apple varieties

In the first stage the influence of an apple variety on the cider quality was analyzed. Fourteen varieties of apples were used: dessert apple varieties ‘Auksis’, ‘Lietuvas Pepiņš’, DI-93-4-14, ‘Remo’, ‘Antonovka’, ‘Merry Gold’ and crab apple varieties ‘Riku’, ‘Ruti’, K-8/9-24, ‘Cornelie’, ‘Hyslop’, ‘Kuku’, ‘Kerr’, ‘Quaker Beauty’, their juices and ciders (harvest of 2011). Commercial yeast *Saccharomyces cerevisiae* 71B-1122 was used for fermentation.

Stage II: Evaluation of the influence of yeast

The effect of fermentation process on cider quality and the effect of tested yeast strain, fermentation temperature and yeast concentration on the product quality was analyzed. The apple juice of the variety ‘Lietuvas Pepiņš’ was used in the research. Four types of yeast were added to the juice: *Saccharomyces bayanus* yeast strain EC-1118, *Saccharomyces bayanus* yeast “Cider yeast”, *Saccharomyces cerevisiae* yeast strain 71B-1122 and *Saccharomyces cerevisiae* yeast strain K1V -1116 (V1116). Yeast concentration – 7.3×10^7 of yeast strain L⁻¹.

The apple juice of the variety ‘Lietuvas Pepiņš’ was used in order to test the effect of fermentation temperature and yeast concentration on cider quality. Yeast *Saccharomyces bayanus* EC-1118 in three different concentrations was chosen. Fermentation was carried out at two temperatures: +16±1 °C and +23±1 °C. Apples harvested in 2010 were used in the research.

Stage III: Evaluation of the effect of the blending

In the research juices of 5 variety apples were used and blending was performed before fermentation and also for fermented ciders, and the quality indicators were compared. Apples harvested in 2010 were used in the research. Changes in physical properties and chemical composition during fermentation (on the 1st, 3rd, 7th, 14th, 21st, 28th, 35th and 42nd day) for six blended samples (Table 1) were determined.

Stage IV: Evaluation of maturation process effect

The effect of lactic acid bacteria *Oenococcus oeni* and oak chips on cider quality was analyzed. Both lactic acid bacteria and oak chips were added during maturation. For experiment a blend from juices of varieties 'Auksis', 'Lietuvas Pepiņš', 'Kerr' in proportion of 2 : 1 : 2 were used. Commercial yeast *Saccharomyces cerevisiae* 71B-1122 was used for fermentation. Apples harvested in 2012 were used in the research.

Stage V: Comparison of experimental and commercial ciders

In the research composition of 11 commercial ciders was compared with experimental ciders produced during the research (from each stage the best samples were selected for comparison with commercial cider samples).

Abbreviations of commercial ciders:

K1 – „Cidre Bouche Brut De Normandie”, K2 – „Cidre Bouche Doux Lieblich”, K3 – „Cidre Bouche Pierre Huet”, K4 – „Bulmers Original Irish Cider”, K5 – „Upcider apple cider natural”, K6 – „Savanna dry premium cider”, K7 – „Abavas sidrs” semi sweet, K8 – „Abavas sidrs”, semi dry, K9 – „Sabiles sidrs”, K10 – „Lucky Dog Apple”, K11 – „Apple Garden”.

Abbreviations of experimental ciders:

- I stage: ciders of apple varieties 'Auksis'; 'Kerr';
- II stage: 71B-112 – cider fermented with 71B-112 yeast strains; EC-1118 – cider fermented with EC-1118 yeast strains;
- III stage: LP_2_BF – blended–fermented (varieties – 'Auksis' : 'Lietuvas Pepiņš' : 'Kerr', proportion – 2 : 1 : 2); R_2_BF – blended – fermented (varieties – 'Auksis' : 'Remo' : 'Kerr', proportion – 2 : 1 : 2), DI_1_BF – blended–fermented (varieties – 'Auksis' : DI-9-4-14 : 'Kerr', proportion – 1 : 1 : 1);
- IV stage: P – cider with added lactic acid bacteria; S – cider matured with unroasted oak chips; GS –cider matured with medium roasted chips.

Parameters analysed and methods used in the research

The methods used in the analysis of apples, apple juices and ciders are summarized in Table 2.

Mathematical processing and interpretation of data

Mathematical processing of data was performed with mathematical statistical methods. The calculations were carried out with software *MS Excel*, *SPSS 17.0*. and statistical software programme *MultiBase 2014*. The following indicators were calculated for all of the results: the arithmetic average, the standard deviation. The hypothesis was tested with p-value method and factors were considered to be significant, if $p\text{-value} < \alpha_{0,05}$. For the result interpretation it was accepted that α is 0.05 ($\alpha=0.05$) with 95% credibility if not stated otherwise.

Analyzing correlation of different parameters, the regression and correlation analysis was used. If the correlation coefficient value is $0.5 \leq |r| \leq 0.8$, there is moderate linear correlation between researched parameters. If $|r| > 0.8$, there is close linear correlation (Arhipova, Bāliņa, 2003).

The method of hierarchical clusters was used in the research to classify data in subgroups or clusters. Each cluster unites objects that are mutually closely connected. The method was used for classifying apple juices and ciders according to their physical and chemical properties. The principal component analysis was used for the analysis of volatile substances and sensory properties. The principal component analysis is the method of analyzing and processing data (principal component analysis) to explain the pattern of similarity of different parameters within a set of observed variables. The analysis identified the main mutually connected components (Leech et al., 2005).

RESULTS AND DISCUSSION

1. Evaluation of apple varieties

Quality parameters of various apple variety juices

Each apple variety has the optimum time for harvesting and for processing. It is of high importance for juice producers to know when it is possible to obtain the maximum juice yield and the most appropriate physical and chemical properties for processing. The optimum harvest conditions of apples are evaluated by the Streif Index and it varied between 0.07 līdz 0.18 in apple varieties used in the study. The highest juice yields of dessert apple varieties was 66.4% for hybrid DI-93-4-14, 65.8% and 64.6% for varieties 'Lietuvas Pepiņš' and 'Remo', respectively. The average juice yield of crab apple varieties was 48.8%, the apple variety 'Kerr' having the highest juice yield of 62.8% and the apple variety 'Quaker Beauty' having the lowest juice yield of 42.4%.

The main raw material of ciders is apple juice therefore it is necessary to determine its physical and chemical properties. The content of total acid in dessert apple juice varied from 4.1 g L⁻¹ ('Auksis') to 10.73 g L⁻¹ ('Antonovka'). The total content of acids in crab apples was on average 10.8 g L⁻¹, the apple juice of the apple variety 'Cornelie' (19.6 g L⁻¹) having the highest acid content and the apple variety 'Kuku' (7.87 g L⁻¹) having the lowest one. The apple juice pH varied from 2.96 in the apple juice of the variety 'Cornelie' to 3.39 of the variety 'Ruti'. The recommended pH of the juice for cider fermentation is 3.3–3.8 (Lea, 2003), thus it is possible to conclude that pH in the juice of Latvian apples was very low and only the juice of four apple varieties 'Auksis', 'Quaker Beauty', 'Kuku' and 'Ruti' corresponded to the given parameters. The juices with lower pH should be blended until the required pH is achieved. The content of soluble solids in the apple juice varied from 10.50–17.58 °Brix. The total sugars in the juice of dessert apple varieties (the total amount of glucose, fructose and saccharose) varied from 87.14 g L⁻¹ ('Antonovka') to 124.47 g L⁻¹ ('DI-93-4-14'). The total amount of sugars in the juice of crab apples varied from 103.70 g L⁻¹ ('Kerr') to 163.08 g L⁻¹ ('Kuku'), which was 1.3–1.8 times higher than in the juice of dessert apples. The major sugars in the researched apple juices were fructose (23.50–66.91 g L⁻¹) and saccharose (21.0–84.68 g L⁻¹). In order to obtain the necessary level of sweetness, it is possible to change the juice

proportions in the blend and select the yeast strain on the basis of its suitability to fermentation of certain sugars.

The analysis of hierarchical clustering was used in order to group juices of different apple varieties with regard to soluble solids, total content of acids and sugars. Apple juices were divided into two clusters on the basis of similar features (Fig. 2). The first cluster comprised juices of all dessert apple varieties and juices of crab variety 'Kerr' and hybrid 'K-8/9-24'. The samples of the first cluster had the lowest total content of acids, soluble solids and sugars. The second cluster comprised juices of crab variety apples with similar and higher total content of acid, soluble solids and sugars.

The analysis of the basic indicators of apple juices showed that some juices of crab variety apples comprised higher content of soluble solids, total sugars and acids, therefore it is necessary to blend juices of dessert apple varieties, forming a proper ratio between sugars and acids.

Quality parameters of various apple variety ciders

The chosen apple variety influences significantly the quality of the cider. The analysis of the content of soluble solids in apple juices and the content of soluble solids in cider showed moderate correlation ($r=0.57$). The content of alcohol in cider samples varied between 4.7–7.67 vol. %.

Phenolic compounds. Phenolic content depends on the chemical composition of apple juice and cider making technology (Tsao et al., 2005). The study showed moderate correlation between total phenolic content in apple juices and ciders (Fig. 3).

Total phenolic content in ciders ranged from 792.68 to 3399.78 mg L⁻¹, and it was significantly influenced ($p<0.05$) by an apple variety. The highest total phenolic content was identified in ciders that were made from crab apples 'Hyslop', but the lowest total phenolic content - from the hybrid apples DI-93-4-14. The obtained results correspond to the findings of Nogueira et al. (2008), reporting the phenolic concentration in apple wine from 734.8 to 2463.4 mg L⁻¹.

Volatile compounds. In the analyzed cider samples seven classes of volatile compounds, i.e., acids, esters, alcohols, aldehydes, terpenes, ethers and aromatic compounds were detected and the content depended on the type of cider. There was not a statistically significant difference between volatile compound classes in ciders made of dessert and crab apple varieties, but there was a significant difference ($p<0.05$) between individual variety apple ciders. The highest content of volatile compounds was identified in ciders of the variety 'Ruti' and ciders of the apple variety 'Merry Gold', but the lowest content of volatile compounds was identified in ciders of the apple variety 'Quaker Beauty'. A good taste of wine depends on the balance of volatile compounds - acids, alcohols, aldehydes, ketones and esters, as well as yeast activity resulting in the bouquet of volatile substances that mostly are long chain alcohols and esters (Swiegers et al., 2005). The most significant volatile compound classes detected in ciders were esters and alcohols (Fig. 4).

Esters in ciders varied from 17.8% ('Cornelie') to 87.5% ('Hyslop'), but volatile alcohols varied from 8.16% ('Hyslop') to 78.98% ('Cornelie'). Four acetic acid

esters were identified in ciders – ethylacetate, butylacetate, 3-methylbutan-1-ol acetate (isoamyl acetate), hexyl acetate. Ethylacetate is a characteristic acetate in Asturian ciders and varies from 17 mg L⁻¹ to 222 mg L⁻¹ (Swiegers et al., 2005).

The highest peak area of 3-methylbutan-1-ol acetate was detected in ciders of the variety ‘Auksis’ and it is characterized by banana, pear aroma (Fenaroli, 2002). It is one of the main compounds forming ‘Fuji’ apple juice aroma, and its content grows during fermentation (Wang et al., 2004).

Sensory properties. Results of intensity of sensory properties (clarity, aroma of apples, fruit and yeast, taste of apples and yeast, sour taste, astringent taste, bitter taste) are shown in Figure 5. According to ANOVA data analysis, an apple variety influenced significantly ($p<0.05$) the whole range of ciders’ sensory properties. Apple aroma intensity in all cider samples varied from 5.3 to 7.6 points.

According to the evaluation results, there was a statistically significant difference ($p<0.05$) in the sour taste intensity; the highest sour taste intensity was detected in ciders of varieties ‘Cornelie’ un ‘Hyslop’ apples. The results showed that sour taste of ciders had a moderate correlation ($r=0.63$) with the total acid content in ciders. There was a statistically significant difference ($p<0.05$) in the intensity of bitter and astringent taste; the highest results were detected in ciders of crab apple varieties ‘Riki’ and ‘Hyslop’. The higher intensity of three parameters – apple taste, apple and fruit aroma sum were found in ciders of varieties ‘Auksis’, ‘Kerr’, ‘K-8/9-24’ and ‘Antonovka’. The analysis of volatile and sensory properties revealed the correlation between apple aroma and the following indices: moderate correlation ($r=0.71$) with 3-methylbutan-1-ol acetate (fruit, banana aroma), moderate correlation ($r=0.61$) with ethyl butyrate (sweet, fruit, strawberry aroma), moderate correlation ($r=0.64$) with hexyl acetate (fresh, fruit, grape aroma).

The research findings showed that a chemical composition of apple juices and ciders was influenced by apple variety, not the type of apples – either dessert or crab apples.

2. Influence of the yeast strain and fermentation conditions on the cider quality

Influence of yeast strain on the cider quality

Phenolic compounds. Phenolic content in apple juice of the variety ‘Lietuvos Pepiņš’ used in the study was 1020 mg L⁻¹, and it was not statistically different from sample EC-1118. Phenolic content in samples fermented with yeast genus *S. cerevisiae* was significantly higher ($p<0.05$).

Volatile compounds. The yeast strain significantly influenced formation of volatile compounds and their transformation during fermentation process. Yeast metabolism provided an important contribution to formation of fermented beverage taste. Three compounds, which previously had been found in apples, i.e., 2-methyl butyl acetate, hexyl acetate and hexan-1-ol, were detected in all cider samples. Four activated yeast volatile compounds were identified in ciders: acetic acid, ethanol, phenylethylalcohol and 3-methyl butyl acetate. The analysis of literature available gives evidence that yeast produces 3-methylbutyl-1-ol, and it is the main alcohol in

wine (Romano et al., 2008; Garde-Cerdan and Anczñ-Azpilicueta, 2007); it was detected in all researched cider samples. Alcohols were the mostly represented group of volatile compounds in the samples of fermented drinks accounting for 56–68% of the total amount of volatile compounds (Fig. 6). The main identified alcohols were ethanol, hexan-1-ol and phenylethylalcohol. Juices fermented with *S. cerevisiae* yeasts showed higher content of alcohols; the similar tendency was observed in wine (Mateo et al., 2001). Esters accounted for more than 30–42% of the total amount of volatile aroma compounds. The main identified esters in samples were ethylacetate, ethyloctanoate, hexylhexanoate, 2-methyl butyl acetate. C4-C10 ethyl esters of organic acids, fatty acid ethyl esters and long chain alcohol acetates determine fruit aroma in wine (Ebeler, 2001). Ethyl acetate that strengthens the vinegar taste in cider (Campo et al., 2008) was found in all fermented samples with the biggest peak area in the ICV-K1 (V1116) sample. Three acids were detected in all samples: acetic acid, octanoic acid and hexanoic acid. Formation of acetic acid often is related to more intensive creation of ethyl acetate (Campo et al., 2008), however, it was not confirmed in this experiment. Hexanoic acid in small concentration was found in two samples (EC-1118 and ICV- K1 (V1116)). The synthesis of this compound is mostly connected with yeast activity, and its concentration decreases, if the amount of cultivated yeast increases (Mateo et al., 2001).

The results showed that the total peak area of volatile compounds and the type of individual compounds in fermented drinks were influenced by the used yeast strain, and that there was not a significant difference between ciders fermented with yeasts *S. cerevisiae* and *S. bayanus*.

The characteristics of cider aroma and taste. The experts detected the following tastes in all analyzed samples: vinegar acidity, citrus fruit acidity, ester (as apples and pears), astringent and full taste. Statistically significant differences between yeasts *S. bayanus* and *S. cerevisiae* were identified only in two parameters – in the taste of citrus fruit and in bitter taste. The experts identified sharp acidity in samples that were fermented with yeast strain EC-1118 and ICV-K1 (V1116), and light (soft) acidity that was characteristic to lactic acid in the samples “Cider yeast” and 71B-1122.

The analysis of intensity of cider sensory properties. Statistically significant difference ($p < 0.05$) between cider samples fermented with various yeast strains was identified by experts in the following sensory properties: clarity, yeast aroma, apple taste and sour taste. Ciders 71B-1122 had the highest apple taste intensity score. 2-methyl butyl acetate, hexyl group acetate, hexan-1-ol were detected as the main volatile compounds in apple juice. On the basis of these results the correlation analysis was carried out between typical apple volatile substances in the cider and intensity of fruit aroma, apple taste and aroma (Table 3).

Intensity of apple aroma had a close correlation with 2-methyl butyl acetate ($r=0.92$) and with the total amount of volatile compounds made of 2-methyl butyl acetate, hexyl acetate and hexan-1-ol ($r=0.99$). The data analysis proved close correlation between the total amount of volatile compounds characterizing the

analyzed apple aroma and sensory properties, giving evidence to the fact that the total amount of volatile compounds influenced sensory properties of cider more significantly.

Influence of fermentation conditions on cider quality

Commercially available *S.bayanus* yeast strain EC-1118 was chosen for fermentation in three different concentrations; fermentation was carried out at two different temperatures, the results were compared after eight and twenty-eight fermentation days.

Higher amount of typical apple juice volatile compounds was identified in the ciders with less added amount of yeast. Acetic acid, butan-1-ol, 3-methylbutan-1-ol and phenylethylalcohol identified in cider are typical volatile compounds of activated yeast. Other aroma substances were formed during fermentation process. The content of acetic acid increased during fermentation process; the highest content was identified in cider with the lowest concentration of added yeast. The highest content of volatile compounds of aroma substances was found in the sample with lower yeast concentration, fermented at +23 °C. Hexyl acetate and hexan-1-ol are typical compounds of apple aroma found in ciders that were fermented with lower yeast concentration and at the lower temperature. The concentration of ethyl acetate and butyl acetate in ciders was higher in the samples that were fermented at higher temperature. Other classes of esters (octanoic acid and decanoic acid ethyl esters), formed during fermentation process, showed higher concentration in the samples fermented at lower temperature.

3. Influence of blending on the quality parameters of cider

Blending can ensure production of higher quality product, because it is possible to combine juices and ciders with different acidity, sweetness, aroma etc., thus achieving an optimal quality. One sweet apple variety 'Auksis', one crab apple variety 'Kerr' and three sour apple varieties 'Remo', DI-93-4-14 and 'Lietuvas Pepiņš' were used for the blending. Blending was applied both for juices and for ciders in various ratios in order to compare the influence of both methods on the chemical composition and sensory properties of ciders. The principal component analysis shows the influence of blending type on the dispersion of dominating volatile compounds in the samples (Fig. 7). In the principal component analysis volatile compounds are described with three factors; two of them explained 81,2 % of the total set of variables.

The analysis showed that dominating compounds in ciders blended after fermentation were ethyl acetate, heptadecanoic-8-ol and di-sec-butyl ether. On the other hand, the main compounds in the samples blended before fermentation were butyl acetate, hexyl acetate (aroma of grass, plants, fruit and grapes), 3 - methylbutan - 1-ol, ethyl hexanol (aroma of fruit, strawberries, green apples, anise), octanoic acid (stale aroma) phenylethyl alcohol (pleasant aroma similar to roses (Cometto-Muniz and Cain, 1995) and buthyl acetate. The content of each

volatile compound and its interaction with other volatile compounds were significant in the sensory evaluation of ciders.

The intensity of ciders' sensory properties is shown in Fig. 8. The ANOVA analysis shows that blending method was significant ($p < 0.05$) to all sensory properties. Apple aroma and taste and fruit aroma were determined as the desired cider properties, but yeast taste and yeast aroma were determined as undesirable cider properties. Ciders R_2_BF and DI_1_BF had more intensive apple aroma and taste and fruit aroma. These samples had less distinct yeast odour and taste. The samples DI_2_FB and DI_2_BF proved the lowest intensity of apple aroma and taste and fruit aroma, and bitter taste.

An interaction between two factors – the type of blending and apple variety was significant for all sensory properties, except for apple taste. Evaluation of sensory properties showed that samples prepared of apple juice from the variety 'Remo' had more pronounced clarity and they were with more distinct apple aroma, but the samples prepared of hybrid 'DI-93-4-14' apples had less distinct yeast odour.

Dynamics of physical and chemical properties of apple juice blends in fermentation process

The changes in physical and chemical properties of apple juice blending affected by fermentation process were analysed in six types of blends. pH value increased after adding yeast, then it fell rapidly on the third day of fermentation and then again pH value grew gradually. The same results were obtained in the study on wine fermentation. pH decreased in the first 50 hours of fermentation, then it grew in the next 100 hours. The fall of pH can be explained by the fact that yeasts form H^+ ions using nitrogen (Akin et al., 2008). The research done by Hernandez-Orte et al. (2006) shows that nitrogen is mostly used in the first 50 hours of fermentation. The changes in content of total acids in samples were negligible; the research on wines show that the total content of acids increase during fermentation process (González-Marco et al., 2008). Total phenolic content did not change significantly during fermentation process. The analysis of changes in significant volatile compounds showed that compounds presented in juices (butyl acetate, 1-butanol-2methyl acetate, 2-methyl-2-ethylpropyl propanoate, pentyl acetate, hexyl acetate, hexanol, hexyl butanoate) decreased during fermentation. On the third day of fermentation the brewing process was more intensive and one of the identified main aroma substances was 3-methyl-1-butanol that is also one of the main volatile substances in activated yeast (Tab. 4).

The research on wines shows that five volatile compounds being formed during fermentation process (ethyl lactate, octanoic acid, ethyl hexanoate, isoamyl acetate and ethyl octanoate) are significant aroma forming compounds in 'Menia' wines (Añón et al., 2013). Ethanol may be identified in the headspace starting from the third fermentation day, and its content in the fermentation process increases. Likewise, phenylethyl alcohol is one of the most characteristic aroma substances of yeast, and it can be identified in samples starting from the third day. The main

compounds, created during fermentation process, were esters; the most significant of them were ethyl octanoate and ethyl decanoate.

4. Influence of maturation process on the quality of cider

The sensory properties of ciders can be improved during maturation process using additional technological processes. After basic fermentation lactic acid bacteria *Oenococcus oeni* (further in the text “lactic acid bacteria”) and oak chips were added to cider to test their influence on the end product quality. Apple cider obtained by fermentation of blended apple juices (varieties ‘Auksis’, ‘Lietuvas Pepiņš’, ‘Kerr’ in proportions 2: 1: 2) was used in the study. The quality parameters of the matured ciders are summarized in Table 5.

The results showed that the sample with added lactic acid bacteria had significantly ($p < 0.05$) lower total acids and higher pH; the content of solids in this sample was significantly lower than in other researched samples.

The content of alcohol and pH are significant factors that influence growth of lactic acid bacteria and their activity. Solieri et al. (2010) research reported that low pH in wine had a significant ($p < 0.05$) negative effect on lactic acid fermentation. Addition of oak chips during maturing process significantly ($p < 0.05$) influenced the content of total acids.

The total phenolic content in the analyzed ciders varied from 1028 mg L⁻¹ in the sample P to 1526 mg L⁻¹ in the sample GS; the total phenolic content in the samples matured with oak chip was significantly ($p < 0.05$) higher.

Chlorogenic acid was the most important identified phenolic compound in all cider samples (Tab. 6). The highest content of chlorogenic acid was identified in the sample K, but the lowest content was identified in the sample P. Cabrita et al. (2008) research of wines revealed that the content of gallic acid, ferulic acid and caffeic acid increased after malolactic fermentation, but vanillin and syringic acid content remained stable. In the samples S and GS it significantly decreased. Likewise, the research of Figueiredo-González et al. (2014) showed that the content of catechin and epicatechin decreased during wine maturing in oak barrels.

The sample GS had significantly higher content of caffeic acid, epicatechin, ferulic acid, and vanillin. Lignin and cellulose polymers contained in chips, form aldehydes, phenols, furfural derivatives, lactones and other compounds at high temperature during roasting process (Nonier et al., 2006). Similarly, Bozalongo et al. (2007) investigations found that oak roasting increased the content of compounds created by lignin thermal degradation (vanillin, eugenol etc.)

The highest content of 4-hydroxybenzoic acid was identified in the sample S that corresponded to the findings of Cadahía et al. (2009) where the content of 4-hydroxybenzoic acid and its derivatives increased when wines were matured on French oak chips. The analysis of variance showed a significant difference ($p < 0.05$) for all sensory properties except for the intensity of fruit aroma. The addition of lactic acid bacteria caused less distinct clarity in matured ciders with the most intensive apple aroma and taste, but with the least astringent, yeast and sour taste intensity. The

cider samples matured with unroasted and medium-roasted oak chips showed higher bitter taste intensity and lower sour taste intensity.

The principal component analysis of volatile and sensory properties showed that differences can be explained by three factors: the first two of them accounted for 82,3 % of the total variable set (Fig. 9).

The results showed that different cider maturing technologies influenced the content of volatile compounds in ciders. The sample K was characterized by the most intensive acid taste and yeast aroma. The sample P was characterized by the most intensive fruit, apple aroma and the most intensive apple taste. The dominating volatile substances in the sample P were acetic acid, ethyl-9-decanoate, ethyl decanoate, octanoic acid, ethyl hexanoate; on the whole sweet, oily, fruit (grape), flower aromas, dominated in this sample; less dominant aromas were stale, bitter, soapy and waxy. The ranking test of sensory results showed that the highest rank was given to the sample matured by adding lactic acid bacteria *Oenococcus oeni*.

5. Comparison of experimental and commercial ciders

It is important to compare the cider quality parameters obtained in the study with the parameters of commercial ciders available in market. The qualitative and quantitative content of phenolic and volatile compounds were compared in the research.

Phenolic compounds

The total phenolic content in commercial ciders varied from 324.24 mg L⁻¹ (K10) to 3831.33 mg L⁻¹ in the sample K2. The total phenolic content in experimental ciders was similar - from 793 to 3399 mg L⁻¹. The total phenolic content in the ciders produced in France (K1, K2, K3) was higher that corresponded to the findings of Alonso-Salces et al. (2005), where the total phenolic content in French ciders was 143–2488 mg L⁻¹; it was much less in Basque ciders, namely 24–331 mg L⁻¹. Phenolic content in ciders mostly depended on the used apple varieties and cider making technology. Hierarchical cluster analysis was performed to classify commercial and experimental ciders (Fig. 10).

The first cluster includes several commercial ciders, varieties 'Auksis', blended, fermented with various yeasts, matured ciders and ciders made in small Latvian wineries providing similar phenolic content (abbreviation of samples are described on page 39). The second cluster includes commercial ciders (K5 ("Up cider apple cider natural"), K ("Savanna dry Premium cider") and K10 ("Lucky Dog Apple")) that are known as sparkling ciders with distinct aroma and sweet taste. The third and fourth clusters comprise ciders produced in France K2 („Cidre Bouche Doux Lieblich") and K3 („Cidre Bouche Pierre Huet") with the highest phenolic content. The fourth cluster comprises K1 („Cidre Bouche Brut De Normandie") cider and cider of experimental apple variety 'Kerr'. It is possible to conclude that phenolic contents both of commercial ciders and experimental ciders were similar due to the used apple varieties and producing technologies. The French ciders contained higher

phenolic contents and ciders made of crab variety apples contained a similar amount of phenolics.

Volatile compounds. The analysis of the content of volatile compounds in commercial ciders identified 33 volatile compounds. The French ciders contained smaller amount of volatile substances. The highest content of volatile aroma substances was identified in K11. The most significant volatile compounds in all samples were alcohols and esters. The proportion of volatile alcohols content varied from 6.53% (K10) to 74.05% (K9). Ethanol, 3-methylbutan-1-ol and phenylethylalcohol were the most characteristic volatile alcohols in commercial ciders; similar compounds were identified in experimental ciders.

The proportion of ester compounds varied from 18.81% (K3) to 73.61% (K5) from total amount of volatile compounds in cider samples. The most characteristic cider esters were acetates and ethyl esters which form fruity cider aroma. Ethyl caprylate, hexyl acetate, ethyl hexanoate, 3-methylbutyl acetate and ethyl decanoate were the main compounds characteristic to commercial ciders as well as to experimental ciders. Principal component analysis following summative variation results suggested that the first two factors explained 24.8%, and 18.5%, of total set of variables (Fig. 11).

The great variation of ciders fermented with various yeasts during the research, blended ciders and commercial ciders revealed various profiles of volatile compounds in the analyzed ciders. Ciders matured with lactic acid bacteria *Oenococcus oeni* and oak chips had similar content of volatile substances with those of French ciders. French ciders are characterized by lactic acid fermentation that occurs during maturing in oak barrels (Swaffield et al., 1997). The sample of crab variety 'Kerr' presented a similar profile of volatile compounds with that of the samples from ciders produced in Latvia - K7 ("Abavas sidrs", semi sweet) and K9 ("Sabiles sidrs").

CONCLUSIONS

1. Different variety apple juices could be divided into two clusters according to the content of soluble solids, total sugars and acids. The first cluster includes juices of crab apple varieties with higher content of soluble solids, total sugars and acids. The second cluster includes juices of dessert apple varieties and crab apple varieties. The chemical composition of apple juices is influenced by the apple variety, not by the type – either dessert or crab type.
2. The physical and chemical properties of ciders of various variety apples had statistically significant ($p < 0.05$) differences. Physical chemical parameters of apple juices influenced composition of the volatile compounds in cider. Phenolic content was influenced by the type of apples – either dessert or crab variety apples. The highest intensity of apple taste, apple and fruit aroma was for both ciders of dessert apple varieties ('Auksis' and 'Antonovka'), and for ciders of crab apple varieties ('Kerr' and K-8/9-24).

3. Yeast strains used for fermentation had a significant influence ($p < 0.05$) on the chemical composition of ciders. In the study about 'Lietuvas Pepiņš' apple ciders as the best was evaluated cider fermented with 71B-1122 yeast strain due to higher content of volatile substances and higher intensity of apple taste and odour as well as fruit aroma.
4. The highest amount of apple juice volatile compounds was identified in the samples with the lowest added yeast amount. The highest content of volatile aroma substances' compounds was found in the sample with the lower yeast concentration, fermented at +23 °C temperature. Hexyl acetate and hexanoic-1-ol are typical apple aroma compounds that were detected in ciders fermented with lower yeast concentration and at a lower temperature.
5. Ciders blended after fermentation had higher content of volatile compounds, but cider samples blended before fermentation had more intensive fruit aroma, apple aroma and taste, as well as higher fruit aroma forming ester content.
6. Yeast metabolites started to synthesize on the the fourth day of fermentation, but the most characteristic volatile compounds of apple juices disappeared after 21–35 fermentation days determining physical, chemical and sensory properties of the final product.
7. Addition of lactic acid bacteria *Oenococcus oeni* during cider maturation process reduced the total content of acid, soluble solids, total phenols, content of volatile compounds and simultaneously increasing pH. Ciders matured by adding lactic acid bacteria *Oenococcus oeni* had the most intensive apple aroma and taste, the lowest astringent, yeast and sour taste intensity.
8. Ciders matured with unroasted chips and medium-roasted chips decreased the total content of acids and increased the total phenolic content. Maturing with oak influenced the ratio of volatile substances, i.e., content of esters and volatile acids increased, but content of alcohols decreased. The cider sample matured by unroasted and medium-roasted oak chips showed higher intensity of bitter taste and lower intensity of sour taste.
9. The results showed that in terms of phenolic content and the content of volatile compounds, experimental ciders and commercial ciders were similar. The highest phenolic content was in French ciders and ciders of 'Kerr' variety apples. Ciders matured by adding lactic acid bacteria *Oenococcus oeni* and oak chips revealed similar content of volatile compounds as French ciders. But the sample of crab variety 'Kerr' ciders had a similar profile of volatile compounds with ciders K7 ("Abavas sidrs", semi sweet) and K9 ("Sabiles sidrs") produced in Latvia.
10. The research findings verify the hypothesis – phenolic compounds found in variety apples and volatile compounds produced during cider making process influenced the quality of matured product.

RECOMMENDATIONS FOR MANUFACTURERS

1. It is necessary to form blends for obtaining ciders of good quality, including dessert apple varieties with high content of sugar and soluble solids ('Lietuvas Pepiņš', 'Remo', DI-93-4-14), crab apple varieties with high phenolic content ('Riku', 'Cornelie') and astringent taste ('Cornelie', 'Hyslop'), as well as varieties with distinct apple taste and aroma: dessert apple varieties 'Auksis', 'Antonovka' and crab apple varieties Kerr', K-8/9-24.
2. In blends not only apple juices, but also their proportions play an important role in making ciders. Apple varieties determine the best proportions. Ciders with proportion 2: 1: 2 showed the best results in blends with juices of apple varieties 'Auksis', 'Remo' 'Kerr' and 'Auksis' 'Lietuvas Pepiņš', 'Kerr'. The proportion 1:1:1 was the best for 'Auksis', DI-93-4-14, 'Kerr'. Generally the best results were for ciders made of 'Remo' variety apples juice.