

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE

Pārtikas tehnoloģijas fakultāte
Faculty of Food technology

Solvita Kampuse

**Latvijā audzēto aveņu, upeņu un
jāņogu šķirņu ogu piemērotība saldēšanai**

**Suitability to Freezing of Berries from
Different Raspberry, Black, Red and White
Currant Cultivars Grown in Latvia**

**Promocijas darba kopsavilkums inženierzinātņu doktora
zinātniskā grāda iegūšanai pārtikas zinātnē**

**Summary of Promotion work for acquiring the Doctor's
Degree of Engineering Sciences in the Food Science**

JELGAVA 2006

Darba zinātniskais vadītājs:
Thesis scientific supervisor:
Konsultants:
Adviser:

Prof., Dr. habil. sc. ing.
Imants Atis Skrupskis
Prof., Dr. habil. sc. ing.
Uldis Iljins

Oficiālie recenzenti:
Rerievers:

Prof., Dr. habil. med. **R. Ligere**,
Dr. sc. ing. **I. Karlsons**
Prof. Dr. sc. ing. **V. Kolodjajna**

Darba noformēšana veikta ar ESF atbalstu.



Promocijas darba
aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Pārtikas
zinātnes promocijas padomes atklātā sēdē **2006. gada 9. jūnijā 11⁰⁰**
Jelgavā, Lielā ielā 2, Pārtikas tehnoloģijas fakultātē, 145. auditorijā.

The defence of thesis in open session of the Promotion Board of
Food Science will be held on **9th June, 2006 at 11⁰⁰** in auditorium 145,
Latvia University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava.

Ar zinātnisko darbu var iepazīties LLU fundamentālajā bibliotēkā,
Lielā ielā 2, Jelgavā, LV-3001 un <http://llu.lv/llu-theses.htm>.

Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei Dr. phys. L. Markeviča
LLU, Pārtikas tehnoloģijas fakultātē, Lielā ielā 2, Jelgavā,
LV-3001 vai part@llu.lv

The thesis is available at the Fundamental Library of the Latvia
University of Agriculture, Liela Street 2, Jelgava and <http://llu.lv/llu-theses.htm>.

References are welcome to send to Dr. phys. L. Markeviča, The
Secretary of the Promotion Board LUA, Faculty of food Technology, Lielā
Street 2, Jelgava, LV-3001, Latvia, part@llu.lv

SATURS / CONTENT

Saturs / Content	3
Pētījuma aktualitāte	4
Materiāli un metodes	8
Pētījumu rezultāti un diskusija.....	12
Saldēšanas ietekme uz veselu ogu kvalitāti	12
Saldētu ogu uzglabāšanas režīmu ietekme uz ogu ķīmisko sastāvu.....	14
Saldētu ogu integrētais novērtējums	15
Saldēšanas ietekme uz ogu pārstrādes produktu kvalitāti	16
Saldēšanas un atlaidināšanas procesi un to parametri	18
Secinājumi	26
Ieteikumi ražošanai	27
Actuality and novelty of the research	28
Materials and methods	30
Results and Discussion	35
Influence of freezing to whole berry quality	35
Influence of storage regimes on chemical composition of frozen berries ...	35
Multi-criteria analysis of frozen berries	35
The influence of freezing on quality of berry processing products	36
The processes and parameters of freezing and thawing	37
Conclusions	42
Suggestions for industry	43

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Avenes, upenes un jānogas ir tradicionālas ogas mūsu platuma grādos. To nozīmi uzturā nosaka tajās esošais fizioloģiski aktīvo vielu un vitamīnu kopums, kas ir ievērojami bagātīgāks, nekā vairumā tropisko augļu. Tomēr pēdējos gados Latvijā arvien vairāk ir vērojama tendence samazināt uzturā vietējos augļus un ogas, tos aizstājot ar tirdzniecības tīklā vieglāk pieejamajiem eksotiskajiem augļiem. Tāpēc viens no galvenajiem uzdevumiem ir palielināt vietējo ogu pieejamību Latvijas tirgū visa gada garumā.

Ziemai ogas praktiski nav iespējams saglabāt svaigas, tāpēc ir jādomā par to pārstrādi. Viens no labākajiem konservēšanas veidiem ir saldēšana, jo šādā veidā apstrādātas ogas saglabā svaigām ogām visatbilstošākās īpašības. Lai arī pašreiz pasaulē saldēšana jau ir plaši pazīstama un populāra nozare, daudzas tās jomas vēl prasa nopietnus un plašus pētījumus. Lielā mērā tas ir attiecināms arī uz ogām.

Jau līdz šim pasaulē veiktie pētījumi norāda uz nozīmīgu šķirnes ietekmi kvalitatīvu saldētu ogu ražošanā. Bez tam, tā kā augļu un ogu pārstrādes rūpniecībā arvien plašāk kā izejviela tiek izmantoti saldēti augļi un ogas, tad nozīmīga ir arī saldēšanas ietekmes izpēte uz tālāko pārstrādes produktu kvalitāti. Taču līdz šim ir veikts salīdzinoši maz pētījumu par saldēšanas ietekmi uz ogu pārstrādes produktu kvalitāti. Tāpēc ir svarīgi detalizēti pētīt dažādu šķirņu ogu piemērotību saldēšanai, kā arī saldēšanas ietekmi uz to pārstrādes produktiem.

Patreiz Latvijā ir pazīstamas un tiek audzētas daudzas un dažādas upeņu, jānogu un aveņu šķirnes ar ļoti atšķirīgām īpašībām. No šīm šķirnēm tās, kas ar minimālu darbaspēka un līdzekļu ieguldījumu dod vislielāko ražu, ir ieteiktas audzēšanai intensīvos komerciālos stādījumos (tā sauktās *komercšķirnes*) (MK 2005. gada 25. janvāra noteikumi Nr. 70 „Noteikumi par valsts atbalstu lauksaimniecībai 2005. gadā un tā piešķiršanas kārtību” 3. pielikums). Diemžēl ne *komercšķirņu*, ne pārējo šķirņu ogām nav pārbaudīta piemērotība saldēšanai un pārstrādei. Turklāt Latvijā atšķirīga klimata dēļ nav audzējamams vairums Rietumeiropas pārstrādātāju pieprasīto un labi pārbaudīto šķirņu, un arī tām, kuras var audzēt, Latvijas apstākļos īpašības var atšķirties. Ir zināms, ka Rietumeiropas pārstrādātāji jau sen iepērk tikai atsevišķu šķirņu ogas, kas īpaši labi piemērotas konkrētam pārstrādes produktam. Arī Latvijas vadošie pārstrādes uzņēmumi ir sapratuši šķirnes nozīmi kvalitatīva produkta ražošanā un, izmantojot savu pieredzi un visai nepilnīgo zinātnisko informāciju, mēģina sastādīt iepērkamo ogu šķirņu sarakstus. Tāpēc ir nepieciešams novērtēt Latvijā audzējamo šķirņu ogu piemērotību pārstrādei un saldēšanai, lai no plašā šķirņu klāsta atlasītu pārstrādātājiem tiešām noderīgas šķirnes un tieši tās ieteiktu audzētājiem. Šī

iemesla dēļ darbā ir pētīta gan *komercšķirņu*, gan Latvijā audzējamo Rietumeiropas šķirņu, gan jauno, perspektīvo šķirņu ogu piemērotība saldēšanai un pārstrādei.

Darba mērķis ir dot saldēšanas ietekmes novērtējumu uz ogām un to pārstrādes produktiem, lai noteiktu saldētu ogu un to pārstrādes produktu ražošanai piemērotākās Latvijā audzējamas avenes, upeņu un jāņogu šķirnes.

Darba uzdevumi ir:

1. Pētīt saldēšanas ietekmi uz dažādu šķirņu avenu, upeņu un jāņogu ogu kvalitāti;
2. Izvērtēt saldēšanas ietekmi uz dažādu šķirņu avenu, upeņu un jāņogu pārstrādes produktu kvalitāti;
3. Pētīt uzglabāšanas režīmu ietekmi uz ogu ķīmisko sastāvu;
4. Izvēlēties piemērotākās šķirnes saldētu ogu ražošanai;
5. Atrast iespējamus risinājumus uzglabāšanas režīmu optimizācijai, nosakot maksimāli kriokoncentrētās fāzes pārstiklošanās temperatūru un izveidojot šķidrās fāzes stāvokļa pārejas diagrammas dažādu šķirņu ogu paraugiem;
6. Veikt atlaidināšanas procesa pētījumus un aprobēt teorētisku atlaidināšanas modeli ar eksperimentālajiem datiem, lai noteiktu procesu raksturojošos parametrus un prognozētu atlaidināšanas laiku.

Darba novitāte. Pirmoreiz Latvijā ir veikta vispusīga saldēšanai piemērotu avenu, upeņu un jāņogu šķirņu ogu un to pārstrādes produktu izpēte. Noteiktas atbilstošākās šķirnes saldētu ogu izmantošanai desertā, pārstrādei un produktu ar augstu bioloģiski aktīvo vielu saturu iegūšanai.

Vairāku Latvijā audzēto šķirņu saldētām avenu, upeņu un jāņogu ogām pirmoreiz ir noteikta pārstiklošanās temperatūra (T_g), kā arī pētīta ūdens satura un ūdens aktivitātes (a_w) ietekme uz pārstiklošanās procesu ogās.

Darbā eksperimentāli pētīts avenu ogu atlaidināšanas process un optimizēts iepriekš izstrādāts teorētiskais atlaidināšanas modelis.

Darba rezultātus iespējams izmantot, izvēloties piemērotākās šķirnes ogu pārstrādei. Optimizēts un eksperimentāli pārbaudīts LLU Informācijas Tehnoloģiju fakultātes Fizikas katedrā izstrādātais teorētiskais ogu atlaidināšanas modelis palīdzēs izskaidrot un prognozēt atlaidināšanas laikā ogās notiekošos fizikālos procesus un noteikt šos procesus raksturojošos parametrus.

Zinātniskā darba aprobācija. Par darba gaitu un rezultātiem sniegti 11 ziņojumi starptautiskās zinātniskās konferencēs un simpozijos Čehijā, Igaunijā, Skotijā, Beļģijā, Lietuvā, Itālijā, Polijā, Baltkrievijā un Spānijā, kā arī 5 ziņojumi konferencēs Latvijā.

1. Kampuse, S. (2000) Dažādu aveņu šķirņu piemērotība saldēšanai. LLU lauksaimnieku zinātniskajā konferencē 2000. gada 10. un 11. februārī.
2. Kampuse, S. (2000) Dažādu aveņu šķirņu saldētu ogu un to pārstrādes produktu kvalitātes vērtējums. LLU starptautiskajā doktorantu zinātniskajā konferencē "Zinātne Latvija Eiropa" 2000. gada 22. – 24. maijā.
3. Kampuse, S. (2000) Sensory Evaluation of Fresh and Frozen Raspberry Quality. In International scientific conference "Modern Analytical Methods for Food and Beverage Authentication" Lednice, Czech Republic 31.08. – 2.09. 2000.
4. Kampuse, S., Kampuss, K. (2000) Suitability of raspberry cultivars to freezing. In International scientific conference "Fruit Production and Fruit Breeding", Polli Estonia 12. – 13.09. 2000.
5. U. Iljins, S. Kampuse, A. Āboltiņš, I. Skrupskis (2001) Aveņu atļaidināšanas fizikālie procesi. Zinātniski praktiskajā konferencē "Pārtikas un uztura attīstības virzieni nākotnē", Jelgavā, PTF, 2001.
6. Iljins, U., Kampuse, S., Āboltiņš, A., Skrupskis, I. (2001) Temperature dynamics during thawing of raspberry layer. In Third Nordic-Baltic Agrometrics Conference, Jelgava, Latvia, May 24 – 26, 2001.
7. Kampuse, S., Kampuss, K., Pizika, L. (2001) Stability of anthocyanins and ascorbic acid in raspberry and blackcurrant cultivars during frozen storage. In 8th International Rubus and Ribes Symposium Scotland, UK, 8. – 11. 07. 2001.
8. Aboltins, A., Iljins, U., Kampuse, S. (2002) Mathematical modelling of frozen raspberry thawing, Mathematical modelling and analysis. In 7th International Conference MMA2002, Kääriku, Estonia.
9. Kampuse, S., Kampuss, K. (2002) Quality of Raspberries and Blackcurrants after Frozen Storage. In International scientific conference "Postharvest Unlimited" Leuven, Belgium, 11.06. – 16.06.2002.
10. Kampuss, K., Strautina, S., Kampuse, S. (2002) Fruit quality and chemical composition of black currant (*Ribes nigrum* L.) cultivars. In International scientific conference "Biological and technological factors controlling quality of fruits and berries", Babtai, Lithuania, 10. – 12.09.2002.
11. Kampuse, S., Skrupskis, I., and Kampuss, K. (2003) Quality Evaluation of Different Frozen Berry Cultivars. In International scientific conference "The quality and safety of fruits, vegetables and food in the context of the EU" Kaunas, Lithuania 11. – 12.09.2003.
12. Kampuse, S., Kampuss, K., Moraga Ballesteros, G. (2004) Influence of Freezing on Texture of Blackcurrant and Red currant Jellies. LLU starptautiskajā doktorantu zinātniskajā konferencē "Zinātne lauku attīstībai", Jelgavā, 19 – 22.05.2004.

13. Kampuse, S., Kampuss, K., Skrupskis, I. (2004) Quality Evaluation of Red and White Currant Cultivars. In International scientific symposium „5th International Postharvest Symposium”, Verona, Italy, 6. – 11.06.2004.
14. Kampuse, S., Kampuss, K. (2005) Influence of freezing on black and red currant puree and jelly colour. In 5th International scientific conference “ICCAS 05 – Culinary Arts and Sciences Global and National Perspectives”, Warsaw, Poland, 27.06. – 01.07. 2005.
15. Kampuse, S., Segliņa, D., Skrupskis, I. (2005) Changes of blackcurrant puree chemical components after frozen storage. In International scientific conference “Modern Fruit Growing: State and Development Outlooks”, Samokhvalovich, Beylorussia, 10. – 13.10. 2005.
16. Kampuse, S., Kampuss, K., Moraga, G., Chiralt, A. (2005) Water sorption isotherms and glass transition in raspberries. In International scientific conference “INTRADFOOD 2005 – Inovations in traditional foods”, Valencia, Spain, October 25 – 28, 2005.

Darba rezultāti atspoguļoti 7 starptautiski recenzētās un 5 citās zinātniskās publikācijās latviešu un angļu valodā.

1. Iljins, U., Kampuse, S., Āboltiņš, A., Skrupskis I. (2001) Temperature dynamics during thawing of raspberry layer. Proceedings of the Third Nordic – Baltic Agrometrics Conference, Jelgava, Latvia, May 24 – 26, p. 70 - 75.
2. Kampuse, S., Kampuss, K., Pizika, L. (2002) Stability of anthocyanins and ascorbic acid in raspberry and blackcurrant cultivars during frozen storage. Proceedings of 8th International Symposium on *Rubus* and *Ribes*, Acta Horticulturae 585, p. 507 – 510.
3. Kampuse S., Kampuss K., (2003) Quality of Raspberries and Blackcurrants after frozen storage. Proceedings of the International Conference Postharvest Unlimited, Acta Horticulturae No 599, p. 711 – 717.
4. Kampuse, S., Skrupskis, I., Kampuss, K. (2003) Quality Evaluation of Different Frozen Berry Cultivars. Horticulture and Vegetable Growing, Scientific works of the Lithuanian University of Agriculture, 22 (4), p. 167 – 177.
5. Kampuse, S., Kampuss, K., Moraga Ballesteros, G. (2004) Influence of Freezing on Texture of Blackcurrant and Redcurrant Jellies. Proceedings of 10th International Scientific conference “Research for rural development”, Jelgava, LLU, p. 142 – 147.
6. Kampuse, S., Kampuss, K., Skrupskis, I. (2005) Quality Evaluation of Red and White Currant Cultivars. Proceedings of the 5th International Postharvest Symposium, Acta Horticulturae No 682, p. 623 – 630.
7. Kampuse, S., Kampuss, K. (2005) Influence of freezing on black and red currant puree and jelly colour. Proceedings of 5th International scientific

conference ICCAS 05 – Culinary Arts and Sciences Global and National Perspectives, Warsaw, Poland, p. 322 – 330.

8. Kampuse, S., Skrupskis, I. (1999) Saldētu aveņu ogu un biezeņu sensorā novērtēšana. Jaunais gadsimts un pārtika. Zinātniski praktiskās konferences referāti, Jelgava, LLU, 61. – 63. lpp.
9. Kampuse, S. (2000) Dažādu aveņu šķirņu saldētu ogu un to pārstrādes produktu kvalitātes vērtējums. Zinātne Latvija Eiropa, Starptautiskās zinātniskās konferences referāti, Jelgavā, LLU, 206. – 211. lpp.
10. Iljins, U., Kampuse, S., Āboltniš, A., Skrupskis, I. (2001) Aveņu atlaidināšanas fizikālie procesi. Pārtikas un uztura attīstības virzieni nākotnē, zinātniski praktiskās konferences referāti, Jelgava, PTF, 79. – 84. lpp.
11. Kampuse, S., Segliņa, D., Skrupskis, I. (2005) Changes of blackcurrant puree chemical components after frozen storage. Плодоводство, Том 17, часть 2, стр. 282 – 286.
12. Kampuse, S., Kampuss, K., Moraga, G., Chiralt, A. (2005) “Water sorption isotherms and glass transition in raspberries” proceedings of International scientific conference “INTRADFOOD 2005 – Innovations in traditional foods”, Valencia, Spain, p. 1363 – 1366.

Pateicības.

Pateicos Valsts Dobeles Dārzkopības selekcijas un izmēģinājumu stacijas kolektīvam par iespēju veikt novērojumus un izmēģinājumus viņu izmēģinājumu laukos un laboratorijā, par sniegtajiem padomiem un palīdzību darba izstrādē. Īpaši vēlos pateikties Dr. biol. Sarmītei Strautiņai par sniegtajām konsultācijām un palīdzību šķirņu izvēlē.

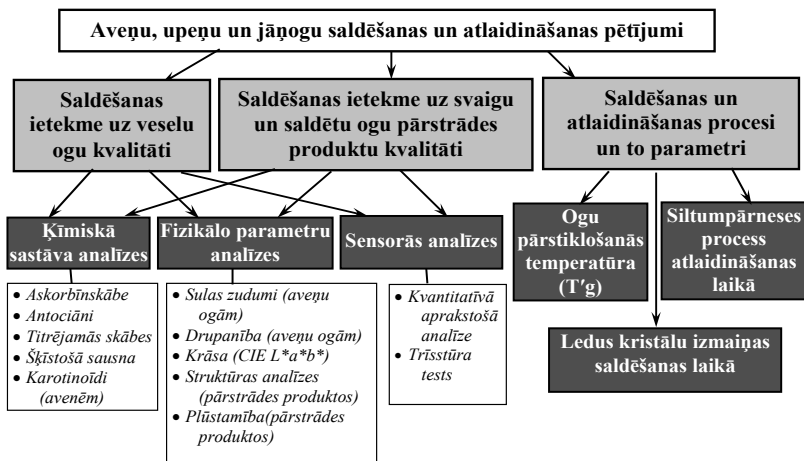
Pateicos par iespēju daļu darba veikt Spānijā Valensijas Politehniskās universitātes Pārtikas tehnoloģijas fakultātes zinātniskajās laboratorijās, izmantojot Socrates Erasmus stipendiju un LR Zemkopības ministrijas subsīdijas. Liels paldies Valensijas Politehniskās universitātes lektorei Dr.sc.ing. Gemmai Moragai par vērtīgajām konsultācijām un palīdzību darba izstrādes laikā Valensijas Politehniskajā universitātē.

MATERIĀLI UN METODES

Pētījumu objekts bija 21 šķirņu aveņu, 32 šķirņu upeņu, 16 šķirņu sarkano jāņogu un piecu šķirņu balto jāņogu ogas un to pārstrādes produkti. Pētīto šķirņu sarakstā iekļautas Latvijā plašāk audzētās un komercšķirņu sarakstos iekļautās šķirnes, kā arī jaunās un perspektīvās šķirnes. Pētījumi veikti Valsts Dobeles Dārzkopības selekcijas izmēģinājumu stacijā (Dobeles DSIS) un Latvijas Lauksaimniecības universitātē (LLU) no

1999. līdz 2004. gadam un Valensijas Politehniskajā universitātē 2003. gadā.

Lai pārbaudītu saldēšanas ietekmi uz ogu kvalitāti, veselās ogas un to pārstrādes produkti analizēti pirms un pēc saldēšanas, kā arī pētīta saldēšanas un atlaidinašanas procesu ietekme uz kvalitāti (1. attēls).



1. att. Darbā veiktie izmēģinājumi.

Pēc novākšanas ogas tika šķīrotas, saldētas firmas PORKKA saldējamā iekārtā BF 710 -25±2 °C temperatūrā, fasētas un pēc tam uzglabātas aukstuma kamerā VTK 201 U -20±2 °C temperatūrā.

Saldētu aveņu ar un bez sēkliņām un upeņu biezeņu un jāņogu sulas pagatavošana notika izmantojot mehānisko biezeņa un sulas ieguves paņēmieni: izberžot caur sietu, pievienojot cukuru, samaisot, fasējot 0,2 – 0,5 kg polipropilēna trauciņos, saldējot -25±2 °C un uzglabājot -20±2 °C temperatūrā. Visos izmēģinājumos biezeņiem pievienoja 20% cukura, izņemot paraugiem sensorajām analīzēm trīsstūra testā, kur pievienoja 10% cukura. Svaigām un saldētām ogām kā arī to pārstrādes produktiem noteiktas

1) Ķīmiskās analīzes:

- askorbīnskābe svaigām un saldētām ogām un saldētiem upeņu biezeņiem ar joda metodi (Давров и Штенберг, 1950);
- antociāni svaigām un saldētām ogām un saldētiem upeņu biezeņiem spektrofotometriski (Fuleki and Francis, 1968);
- titrējamās skābes svaigām un saldētām ogām un saldētiem upeņu biezeņiem ar 0,1 N NaOH (ISO 750:1998);

- šķīstošā sausna svaigām un saldētām ogām ar refraktometru ATAGO N20 (ISO 2173:2003);
- karotinoīdi aveņu ogām spektrofotometriski pie viļņu garuma 440 nm. (Орехман, 1970);

2) fizikālo parametru analīzes:

- sulas zudumi pēc atļaidināšanas (aveņu ogām) - atļaidinot ogas +17 - +20 °C un aprēķinot procentuāli no kopējās ogu masas;
- drupanība (aveņu ogām) - saldētas ogas 3 minūtes vienmērīgi kratot aukstuma kamerā VTK 201 -20±2 °C temperatūrā;
- krāsa (aveņu un upeņu biezeņiem, jāņogu sulai, upeņu džemam un jāņogu želejai) ar spektrofotometru CM 3600 CIE L*a*b* un L*C*h° sistēmās;
- struktūras analīzes (upeņu biezenim, upeņu džemam un jāņogu želejai) ar struktūras analizatoru TA-XTPlus mērot saspišanas spēku (N);
- plūstamība analīzes (upeņu džemam un jāņogu želejai) ar konsistences mērītāju „QUIMA” aizplūšanas attāluma (mm) attiecību pret parauga masu (g) (Bourne, 1982);

3) sensorās analīzes:

- kvantitatīvā aprakstošā analīze (aveņu ogām un biezeņiem) (Meilgaard et al, 1999; Strautniece, 2004);
- trīsstūra tests analīze (aveņu biezeņiem un upeņu džemam) pēc ISO 4120:1983 (Meilgaard et al, 1999).

Ķīmiskajām analīzēm ogas tika 10-15 minūtes atļaidinātas.

Sensorajām analīzēm izmantotas pilnībā atļaidinātas un līdz istabas temperatūrai sasildītas ogas.

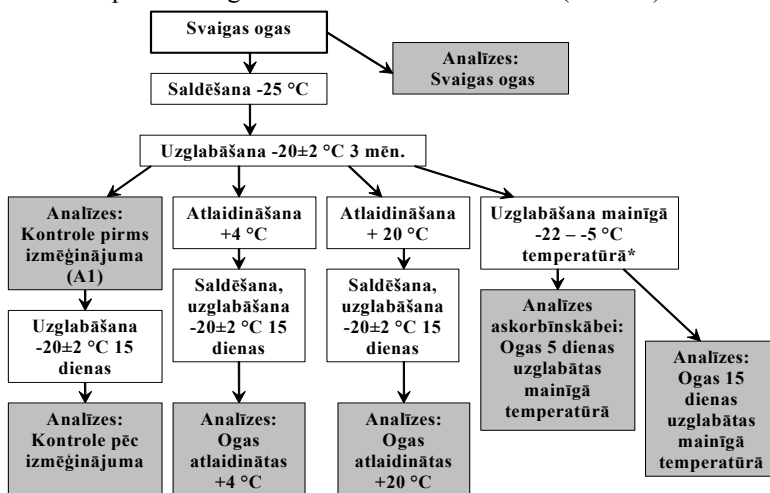
Ledus kristālu augšanas pētījumi veikti paraugus ievietojot speciālā saldējošā panelī (LTS 350), kuru novieto uz stereomikroskopa Leica ICC A M2-393-004 un pieslēdz pie temperatūras un dzesēšanas ātruma regulēšanas iekārtas TMS 94.

Maksimāli krio-koncentrētās ogu nesasalušās šķidrās fāzes **pārstiklošanās temperatūra** T'_g un pārstiklotās fāzes kušanas sākuma temperatūra T'_m noteiktas ar diferenciālās skanējošās kalorimetrijas (*Differential Scanning Calorimetry jeb DSC*) metodi saldētiem un pēc tam atļaidinātiem astoņu aveņu, septiņu upeņu un vienas jāņogu šķirnes biezsulas paraugiem. Lai iegūtu paraugus ar dažādu mitruma saturu un a_w , svaigi un sublimēti kaltēti divu aveņu, divu upeņu un vienas jāņogu šķirnes paraugi tika ievietoti hermētiskās stikla kamerās ar piesātinātiem sāļu šķīdumiem, līdz tie sasniedz konstantu masu. Visi paraugi analizēti ar 220CU-SSC5200 (Seiko instruments Inc.) ievietojot DSC trauciņos un ar šķidrā slāpekļa palīdzību saldējot no +20 līdz -35 °C (ar ātrumu 2 °C min⁻¹),

30 min atstājot konstantā $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā, un tad turpinot saldēt līdz $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ar ātrumu $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$), tādējādi sasniedzot maksimālo ledus kristalizāciju. Sildīšana no -100 līdz $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ notika ar ātrumu $5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ (Moraga et al., 2004). Lai noteiktu paraugu ūdens sorbciju izotermu izmaiņu tendences, izmantots GAB (Van den Berg & Bruin, 1981) modelis, bet lai noteiktu ūdens plastifikācijas efektu, eksperimentālie paraugu T'_g dati tika salīdzināti ar Gordona un Teilora modeli (Gordon and Taylor, 1952). Ledus kušanas līkņu iegūšanai izmantots Robinsona-Stoka vienādojums (Robinson and Stokes, 1965), kā arī aprēķināta ledus kristālu masas daļa.

Saldētu aveņu slāņu atlaidīšanas temperatūra dažādos slāņos mērīta ar termopāru palīdzību. Iegūtie eksperimentālie dati salīdzināti ar LLU izstrādāto teorētisko saldētu produktu atlaidīšanas modeli (Iljins et al., 2004).

Pētījumi par **uzglabāšanas režīmu ietekmi uz ogu ķīmisko sastāvu** veikti Dobeles DSIS 2004. gadā. Aveņu, upeņu un jāņogu ogas tika sasaldētas un pēc tam uzglabātas četros dažādos veidos (2. attēls).



2. att. Aveņu, upeņu un jāņogu uzglabāšana dažādos režīmos.

* katru dienu temperatūra mainīta $-22 - -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ robežās (t.i. katru dienu saldētavas darbība apturēta uz četrām līdz piecām stundām, līdz temperatūra produktā paaugstinās līdz $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, pēc tam saldētava no jauna ieslēgta un temperatūra pazemināta līdz $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Eksperimenta izmainītos uzglabāšanas režīmos nepieciešamība pamatojama ar vairāku autoru atzinumiem par izmēģinājumu trūkumu apstākļos, kad uzglabāšanas režīmi būtu atbilstoši saldētu produktu

izmantošanai rūpniecībā un uzglabāšanai tirdzniecības tīklā (Potter and Hotchkiss, 1995; Skrede G., 1996).

Lai pārbaudītu **saldēšanas ietekmi uz upeņu un jāņogu produktu žeļejas veidošanas spēju un krāsu**, 2003. gadā pagatavoti pieci upeņu produkti: svaigs un saldēts upeņu biezenis no svaigām ogām, upeņu biezenis no saldētām ogām, un no svaiga un saldēta biezeņa vārīts upeņu džems, kā arī četri dažādi jāņogu produkti: svaiga un saldēta jāņogu sula (no svaigām ogām) un no svaigas un saldētas sulas vārīta jāņogu žeļeja.

Datu matemātiskā apstrāde veikta izmantojot aprakstošo statistiku un dispersiju analīzi, lai izvērtētu, vai saldēšanai, genotipiem, gadam un citiem parametriem ir būtiska ietekme uz ogu un to produktu kvalitāti. Atšķirību noskaidrošanai starp atsevišķām šķirnēm pielietots Dunkana kritērijs. Sakarību ciešums starp novērotajām pazīmēm noteikts pēc Pīrsona (*Pearson*) **korelācijas analīzes**, izmantojot datorprogrammu SPSS 11.0. (Paura un Arhipova, 2002).

Šķirņu novērtēšanai pēc pazīmju kompleksa izmantoti **Hierarhiju analīzes un daudzkritēriju jeb integrētā novērtējuma** (Мартинов, 1987) principi. Šo novērtējumu iespējams izmantot, analizējot ar dažādām mērīšanas skalām veiktus novērojumus, piešķirot katrai pazīmju grupai un atsevišķai pazīmei savu ieguldījuma koeficientu. Vērtējumā iekļauti saldētu 15 aveņu, 32 upeņu un 16 šķirņu sarkano jāņogu ogu ķīmiskā sastāva, fizikālo īpašību, kā arī šķirņu agronomisko īpašību parametri, kas dod iespēju atlasīt dažādas saldētu ogu produkcijas ražošanai piemērotākās šķirnes.

Aveņu un upeņu integrētais novērtējums veikts, lai izvēlētos labākās šķirnes saldētu ogu izmantošanai desertā, produktu ar augstu bioloģiski aktīvo vielu saturu iegūšanai un pārstrādei, bet jāņogām – lai izvēlētos labākās šķirnes saldētu ogu izmantošanai desertā un pārstrādei. Saldētām jāņogām netika veikta ogu ar augstu bioloģiski aktīvo vielu saturu atlase, jo nav analizētas vairākas vielas, kas nosaka tieši jāņogu bioķīmisko vērtību (piemēram, pektīni). Katra gada dati vērtēti kā atsevišķa pazīme. Agronomiskajiem parametriem visos gados izmantotas vienādas vērtības – ekspertu vērtējumu aritmētiskais vidējais.

PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Saldēšanas ietekme uz veselu ogu kvalitāti

Saldēšana un uzglabāšana sasaldētā stāvoklī būtiski izmaina askorbīnskābes saturu gan aveņu, gan jāņogu, gan upeņu ogās. Maksimālie

askorbīnskābes zudumi pēc saldēšanas avenēs ir 55,86%, upenēs – 19,79% un jānogās – 25,73%. Savukārt saldēšana un uzglabāšana sasaldētā stāvoklī būtiski neizmaina ne antociānu un kopējo skābju saturu aveņu, upeņu un jānogu ogās, ne karotīnu saturu avenēs, bet šķīstošās sausas saturu pēc saldēšanas būtiski izmainās tikai upeņu ogās (1. tabula).

1. tabula/ table 1

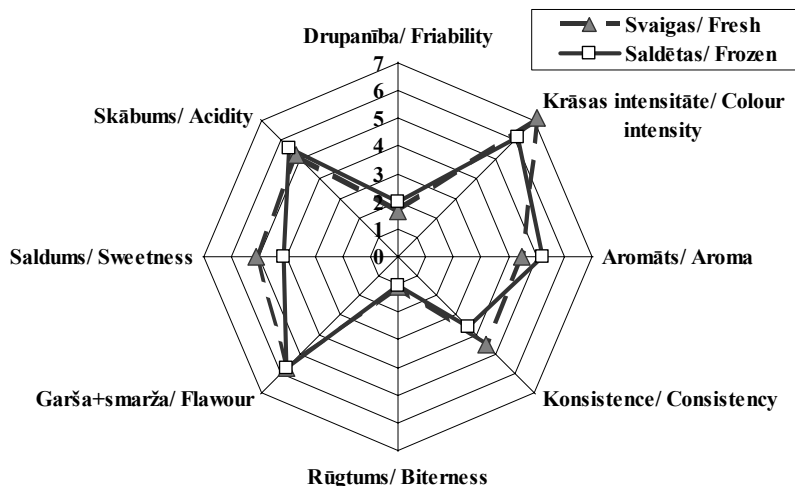
Dažādu faktoru ietekme uz pētītajiem ogu kvalitātes parametriem
The influence of different factors to quality parameters of berries

	Pētītie faktori/ Studied factors								
	Avenes Raspberries			Upenes Black currants			Jānogas Red, White currants		
Pētītās pazīmes	Saldēšana/ Freezing	Šķirne/ cultivar	Gads/ Year	Saldēšana/ Freezing	Šķirne/ cultivar	Gads/ Year	Saldēšana/ Freezing	Šķirne/ cultivar	Gads/ Year
Askorbīnskābe/ Ascorbic acid	S*	S	S	S	S	S	S	S	NS
Antociāni/ Anthocyanins	NS*	S	S	NS	S	S	NS	S	NS
Šķīstošā sausna/ Soluble solids	NS	NS	S	S	S	S	NS	S	S
Titrējamās skābes/ Titrable acids	NS	NS	S	NS	S	NS	NS	S	NS
Kopējie karotīni/ Total carotins	NS	S							
Sulas zudumi pēc atlaidīšanas/ Drip loss		NS	S						
Saldētu ogu drupanība/ Friability of frozen berries		S	S						

*S – dotais faktors būtiski ietekmē pētīto pazīmi/ the influence of factor is significant; *NS – dotais faktors būtiski neietekmē pētīto pazīmi/ the influence of factor is not significant.

Sulas zudumus un drupanību aveņu ogās pēc saldēšanas visvairāk ietekmē meteoroloģiskie apstākļi ražas ienākšanās periodā. Šķirnes ar mazākajiem sulas zudumiem ir ‘Jewel’, ‘Helkal’ un ‘Kirzhach’, bet vismazākā drupanība ir šķirnēm ‘Solnishko’, ‘Skromnitsa’, ‘Tomo’, ‘Norna’ un ‘Meteor’.

Saldēšanas rezultātā būtiski samazinās aveņu ogu krāsas un salduma pakāpe, bet kopumā saldētām ogām nav konstatētas izteiktas atšķirības no svaigām ogām (3. attēls), lai gan sensoro īpašību atšķirību absolūtais lielums ir atkarīgs no šķirnes.



3. att. Svaigu un saldētu aveņu ogu sensoro īpašību salīdzinājums.
Fig. 3 Comparison of fresh and frozen berry sensory properties.

Šķirnes ar labākajām sensorajām īpašībām pēc saldēšanas ir ‘Zvezdochka’ un ‘Skromnitsa’.

Saldētu ogu uzglabāšanas režīmu ietekme uz ogu ķīmisko sastāvu

Izmainītos uzglabāšanas apstākļos pēc saldēšanas (2. attēls) askorbīnskābes saturs aveņu ogās nav būtiski mazāks nekā -20 ± 2 °C temperatūrā uzglabātās ogās, bet askorbīnskābes saturs izmainās upenū un jāņogu ogās ir vērojamas būtiskas atšķirības. Vislielākie askorbīnskābes zudumi ir pēc 15 dienu uzglabāšanas mainīgā temperatūrā, kā arī $+4$ °C temperatūrā atlaidinātās un otrreiz sasaldētās ogās. Izmainīti uzglabāšanas apstākļi pēc saldēšanas būtiski neizmaina antociānu saturu upenēs, bet avenēs un jāņogās to pat nedaudz palielina. Vislielākais šķīstošās sausas saturs bija pēc 15 dienām mainīgā temperatūrā uzglabātās ogās, savukārt vismazākais – $+4$ °C temperatūrā atlaidinātās un atkārtoti sasaldētās ogās.

Saldētu ogu integrētais novērtējums

Lai izvērtētu pētīto šķirņu piemērotību **saldētu un atlaidinātu ogu izmantošanai desertā**, ir veikts integrētais ogu novērtējums (2. tabula), kur vislielākais ieguldījuma koeficients avenu ogām piešķirts drupanībai, aiz kuras aptuveni līdzvērtīgs ieguldījuma koeficients ir sulas zudumiem, ogu masai, skābju/cukuru attiecībai un antociānu saturam.

2. tabula/ table 2

Saldētu ogu šķirņu integrētā novērtējuma apkopojums
Summary of multicriteria analysis of frozen berry cultivars

Izmantošanas veids/ the way of application	Šķirnes/ Cultivars		
	Avenes Raspberries	Upenes Blackcurrants	Jānogas Red and white currants
Desertam / For dessert	‘Tomo’, ‘Brigantina’, ‘Bryanskii Rubin’	‘Detskosel’ skaya’, ‘Yadrenaya’, ‘Joniniai’, ‘Chernii Kentavr’, ‘Selechenskaya’, ‘Mara’	‘Vīksnes Sarkanās’, ‘Valentinovka’, ‘Neimaņa Ķiršu’, ‘Rotet’, ‘Rote Spātlese’
Produktu ar augstu bioloģiski aktīvo vielu saturu iegūšanai / For processing of products with high content of biologicaly active compounds	‘Sputnitsa’, ‘Ariadne’, ‘Bryanskii Rubin’	‘Iyunskaya’, ‘Detskosel’ skaya’, ‘Vernisazh’, ‘Vakarīai’, ‘Triton’, ‘Titania’, ‘Joniniai’	
Pārstrādei / For processing	‘Sputnitsa’, ‘Meteor’, ‘Kirzhach’	‘Titania’, ‘Katyusha’, ‘Triton’, ‘Zagadka’, ‘Vernisazh’, ‘Bagira’, ‘Ojebyn’	‘Vīksnes Sarkanās’, ‘Neimaņa Ķiršu’, ‘Varshevicha’, ‘Holandes Sarkanās’, ‘Vierlander’

Upēņu un jānogu ogu piemērotībai desertam kā nozīmīgākie ir uzskatāmi ogu masa un skābju/cukuru attiecība. Vislielākā nozīme **produkcijas ar augstu bioloģiski aktīvo vielu saturu iegūšanā** tika piešķirta antociānu un askorbīnskābes saturam saldētās ogās. Saldētu ogu **piemērotības pārstrādei** vērtējumā arī ir svarīgs augsts bioloģiski aktīvo vielu saturs, tomēr vislielākā nozīme tika piešķirta piemērotībai komercaudzēšanai, jo rūpnieciskā pārstrādē, lai saražotu attiecīgo

produkcijas veidu, visnozīmīgākais ir pietiekams un lēts nepieciešamās izejvielas apjoms. Nākamās augstākās ieguldījuma koeficienta vērtības bija antociānu saturam un ražībai. Rezultātā tika atlasītas aveņu, upeņu un jāņogu šķirnes ar konkrētajam izmantošanas veidam atbilstošākajām īpašībām (2. tabula).

Saldēšanas ietekme uz ogu pārstrādes produktu kvalitāti

Saldētu aveņu pārstrādes produktu kvalitātes izvērtējums.

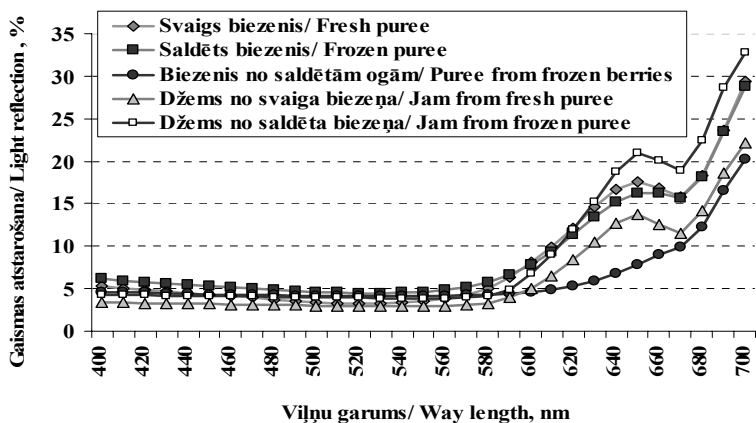
Saldēšana būtiski neizmaina aveņu biezeņu krāsu. Līdz ar to aveņu biezeņus ir iespējams uzglabāt saldētā veidā praktiski neizmainoties to kvalitātei, salīdzinot ar svaigiem biezeņiem. Šķirnes ‘Meteor’ un ‘Balzam’ ir uzskatāmas par vispiemērotākām saldētu aveņu biezeņu ar un bez sēkliņām gatavošanai.

Saldēšanas ietekmes izvērtējums upeņu pārstrādes produktiem. Saldēšana ietekmē no svaigām un saldētām ogām pagatavotu upeņu produktu kvalitāti. Veicot no 22 upeņu šķirņu ogām pagatavotu upeņu biezeņu ķīmiskā sastāva izmaiņu pēc saldēšanas salīdzinājumu ar svaigām un saldētām upeņu ogām, konstatēts, ka askorbīnskābes daudzums saldētos upeņu biezeņos ir būtiski mazāks nekā svaigās un saldētās ogās (vidēji 21% zudumu salīdzinot ar svaigām ogām), savukārt antociānu ekstrakcija no saldētiem upeņu biezeņiem ir būtiski lielāka nekā no ogām, ko var izskaidrot ar antociānu lokalizācijas īpatnībām. Kopējo skābju saturs svaigām un saldētām ogām, un saldētiem biezeņiem būtiski neatšķiras.

No saldētām ogām pagatavotam upeņu biezenim ir tumšāka un tīrāk sarkana krāsa, salīdzinot ar no svaigām ogām izspiestiem svaigiem un saldētiem biezeņiem un džemiem, kas ir izskaidrojams ar spektra atšķirībām – sarkanoranžā krāsa šim biezenim nav tik piesātināta kā citiem produktiem, jo tam nav raksturīgā maksimuma 640 – 660 nm spektra daļā (4. attēls).

Bez tam no saldētām ogām pagatavotam biezenim ir raksturīgs arī vismazākais atšķirību no tīri sarkanas krāsas raksturojošais leņķis Δh° (vidēji $2,48^\circ$) – tā krāsa ir gandrīz pilnīgi tīri sarkana. Pārējiem produktiem Δh° ir augstāks, līdz ar to tie ir vairāk oranži-brūni.

Džems, kas pagatavots no svaiga biezeņa, ir būtiski tumšāks nekā no saldēta biezeņa pagatavots džems. Šķirņu ‘Selechenskaya’, ‘Triton’ un ‘Titania’ produktu krāsa ir atzīstama par labāku, jo to sarkanā krāsa ir tīrāka un produkti ir tumšāki.

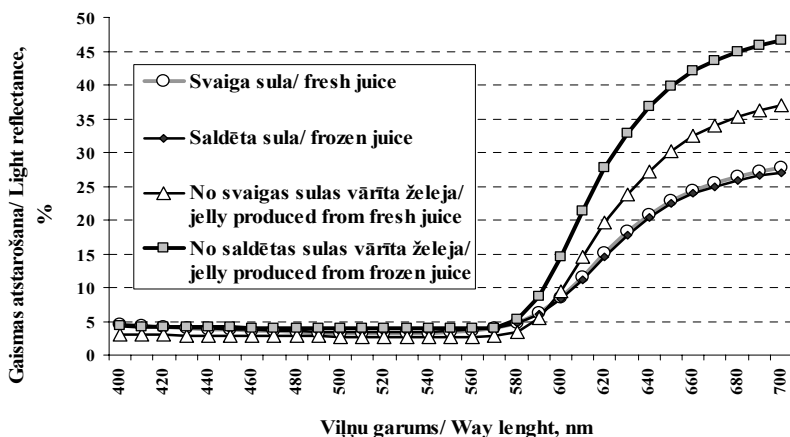


4. att. Dažādu upeņu produktu atstarotās gaismas spektrs.

Fig. 4 Light reflectance spectrum of different blackcurrant products.

Saldēšana būtiski samazina arī želejas stingrību to šķirņu upeņu produktiem, kas saželē svaigā veidā. To šķirņu produkti, kuriem ir visstingrākā struktūra pirms vārīšanas ('Zagadka', 'Titania', 'Triton', 'Selechenskaya'), pēc vārīšanas veido vājākas želejas, tātad upeņu džemos esošais pektīns ir jutīgāks pret atkārtotu želēšanu nekā pret saldēšanu.

Saldēšanas ietekme uz jāņogu pārstrādes produktiem. Jāņogu želeja no saldētas sulas ir gaišāka nekā citi produkti (5. attēls).



5. att. Dažādu jāņogu produktu atstarotās gaismas spektrs.

Fig. 5 Light reflectance spectrum of different red currant products.

Tas, iespējams, varētu būt saistīts ar saldēšanas ietekmi uz izejvielu (sulu) un daļēju antociānu noārdīšanos saldēšanas rezultātā.

Šķirne 'Vīksnes Sarkanās' ir ar vistumšāko un tīrāk sarkano krāsu. Jāņogu krāsa korelē ar antociānu saturu, līdz ar to pēc krāsas tumšuma un intensitātes var spriest par jāņogu produktos esošo antociānu daudzumu.

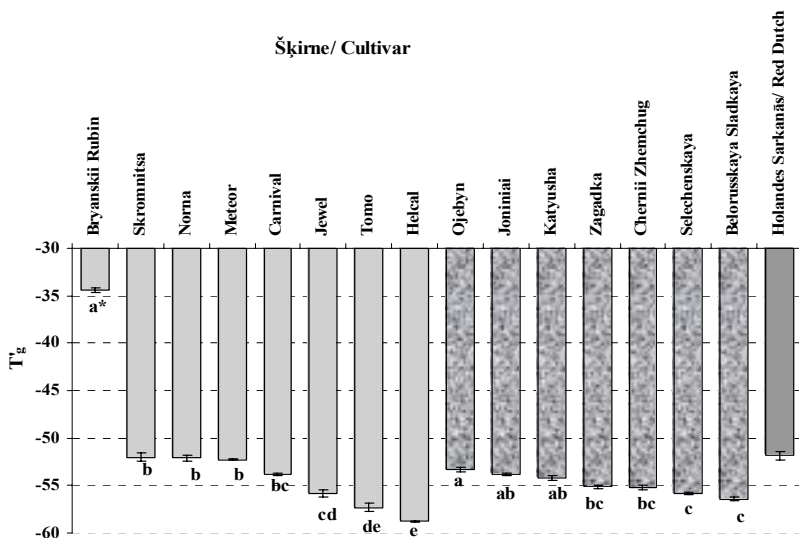
Saldētu sulu izmantošana žeļeas pagatavošanā neizmaina jāņogu žeļeju struktūru un plūstamību. Balto jāņogu šķirnes 'Werdavia' un sarkano jāņogu šķirnes 'Holandes Sarkanās' produkti ir ar stingrāko struktūru un zemāko plūstamību.

Saldēšanas un atlaidināšanas procesi un to parametri

Ledus kristālu izmaiņas sasaldētu ogu šūnās. Ledus kristālu augšanas pētījumi saldēšanas laikā avenu un jāņogu ogu šūnās veikti, lai pārbaudītu ledus kristālu un šūnu struktūras izmaiņas tradicionālās saldēšanas temperatūrā (-20 ± 2 °C) un atlaidināšanas laikā. Vissīkākie ledus kristāli šūnās veidojas ātrās sasaldēšanas laikā un tūlīt pēc minimālās temperatūras sasniegšanas, bet, turpinot ogas uzglabāt saldēšanas temperatūrā, sākas rekristalizācijas process un ledus kristālu augšana. Pie tam, uzglabājot ogas -20 °C temperatūrā, ledus kristālu augšana notiek salīdzinoši strauji. Ledus kristāli -40 °C temperatūrā saldētu ogu šūnās bija daudz sīkāki un arī to augšana bija lēnāka. Tomēr, turpinot ogu atlaidināšanu līdz $+10$ °C, pētītās šūnas palika veselas gan -20 °C temperatūrā uzglabātajām avenēm un jāņogām, gan -40 °C uzglabātajām avenēm un jāņogām. Eksperiments pierāda, ka izvēlēta saldētu ogu uzglabāšanas temperatūra ir pietiekama, lai saglabātu labu ogu kvalitāti arī pēc atlaidināšanas. Tomēr, ja saldētas ogas ir jāuzglabā ilgstoši (no sešiem līdz pat 12 mēnešiem), tad -20 °C temperatūra, iespējams, varētu būt nepietiekama, lai ledus kristālu augšana nebojātu ogu šūnu struktūru un ogas saglabātu stabilu kvalitāti.

Pārstiklošanās process dažādu avenu, upeņu un jāņogu šķirņu ogās. Tā kā iepriekš veiktajos eksperimentos, saldētas ogas uzglabājot -20 ± 2 °C temperatūrā, tika konstatēta nozīmīga saldēšanas ietekme gan uz askorbīnskābes un šķīstošās sausas saturu ogās, gan arī uz atsevišķām sensorām un fizikālām īpašībām, tad radās jautājums par tāda saldēšanas un uzglabāšanas režīma atrašanu, kurā ogu kvalitāte saglabātos maksimāli nemainīga un tuva svaigu ogu kvalitātei. Šādi stabili apstākļi ir iespējami, uzglabājot ogas temperatūrā, kas ir zemāka par saldēšanas rezultātā maksimāli koncentrētās izšķīdušo vielu daļas pārstiklošanās temperatūru (T'_g) (Roos, 1995; Torreggiani et al., 1999).

Veicot diferenciālās skenējošās kalorimetrijas (DSC) analīzes svaigiem astoņu aveņu šķirņu, septiņu upeņu šķirņu un vienam jāņogu paraugam (6. attēls), atrastas to pārstiklošanās temperatūras, kas bija no -34,37 °C līdz -58,77 °C.



6. att. Dažādu šķirņu aveņu, upeņu un jāņogu paraugu maksimāli kriokonzentrētā šķīduma pārstiklošanās temperatūras T'_g .

Fig. 6 The maximally cryo-concentrated liquid face glass transition temperature T'_g of samples from different raspberry, blackcurrant and red currant cultivars.

* – Vērtības vienas ogu sugas robežās, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, nav būtiski atšķirīgas savā starpā pie $p=0,05$ / Values marked with the same letter are not significantly different at $p=0,05$;

▨ : aveņu šķirnes/ raspberry cultivars; ▤ : upeņu šķirnes/ black currant cultivars; ▨ : jāņogu šķirne/ red currant cultivar.

Gan aveņu, gan upeņu dažādu šķirņu biezeņu pārstiklošanās temperatūras būtiski atšķīrās ($p=0,000$), kas pierāda šķirņu izvēles nozīmīgumu. Visaugstākā pārstiklošanās temperatūra bija aveņu šķirnes ‘Bryanskii Rubin’ ($-34,37 \pm 0,25$ °C) ogu biezenī. Salīdzinoši augstākā pārstiklošanās temperatūra liecina par ātrāku koncentrētās šķidrās fāzes pāriešanu stiklveida stāvoklī, iegūstot kinētisku stabilitāti. Aveņu šķirne ar zemāko T'_g bija dzelteno ogu šķirne ‘Helcal’ ($-58,77 \pm 0,05$).

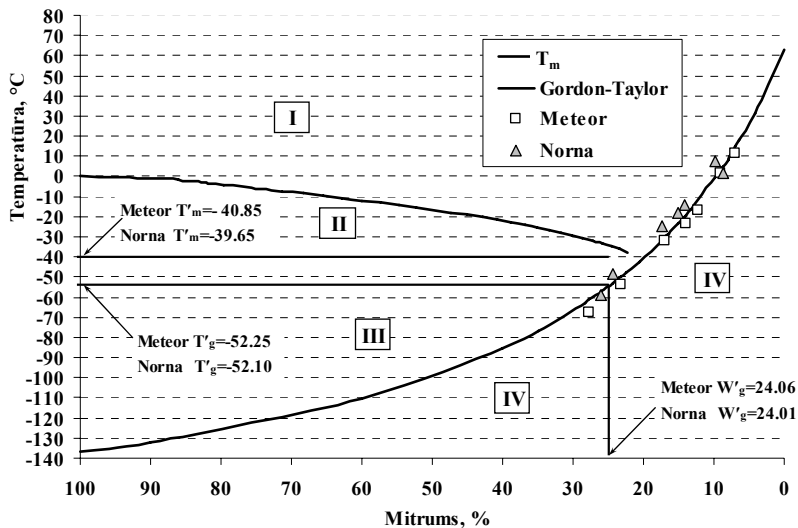
Augstākā pārstiklošanās temperatūra upenēm bija šķirnei 'Ojebyn' ($-53,33 \pm 0,24$ °C), bet zemākā šķirnei 'Belorusskaya Sladkaya' ($-56,43 \pm 0,19$ °C). Jāņogu šķirnes 'Holandes Sarkanās' maksimāli kriokoncentrētā šķiduma pārstiklošanās temperatūra bija augstāka nekā upenēm ($T'_g = -51,87 \pm 0,45$).

Lai konstatētu pārstiklošanās temperatūras atkarības no ūdens daudzuma produktā raksturu, izmantots teorētiskais Gordona-Teilora (1952) modelis. Tas pielīdzināts eksperimentālajiem T_g un ūdens daudzuma (g ūdens uz g produkta) datiem, pieņemot, ka tīra ūdens pārstiklošanās temperatūra ir -137 °C (Roos, 1995). Iegūtās bezūdens sausnas pārstiklošanās temperatūras $T_{g(as)}$ vērtības bija no $30,21 - 62,70$ °C, bet Gordona-Teilora konstantes k vērtības bija no $3,59 - 4,28$.

Lai atrastu vispiemērotākos uzglabāšanas apstākļus aveņu, upeņu un jāņogu paraugiem, izveidota ogu šķidrās nesasalušās daļas stāvokļa pārejas diagramma. Stāvokļa diagrammas izveidei nepieciešamās kušanas līknes dati aprēķināti, izmantojot Robinsona-Stoka vienādojumu (Robinson and Stokes, 1965) un GAB modeli desorbciju procesam. Bez tam diagrammā iekļauti ar Gordona-Teilora modeli aprēķinātie T_g dati desorbciju procesam, kā arī svaigu paraugu maksimāli kriokoncentrētās šķidrās fāzes pārstiklošanās temperatūra T'_g un kušanas temperatūra T'_m (7. attēls).

Neizsalstošā ūdens masas daļa (W'_g) pētītajos ogu paraugos bija $23,44 - 24,19\%$, tātad paraugos ar augstāku ūdens saturu būs izsalstošais ūdens, līdz ar to svaigu ogu paraugu ieteicamā uzglabāšanas temperatūra ir zem maksimāli kriokoncentrētās šķidrās fāzes pārstiklošanās temperatūras.

Tā kā vairumam pētīto ogu šķirņu biezēniem, izņemot aveņu šķirnes 'Bryanskii Rubin' biezeni, pārstiklošanās temperatūra bija zem -50 °C, bet šādu saldētu ogu produktu uzglabāšanas temperatūru rūpniecībā neizmanto un tas ir ekonomiski neizdevīgi, tad iespējamais risinājums varētu būt saldētu biezeņu pārstiklošanās temperatūras paaugstināšana, palielinot šķiduma koncentrāciju biežēnos, ko ieteikuši vairāki zinātnieki (Chiralt et al., 2001; Moraga et al., 2004).

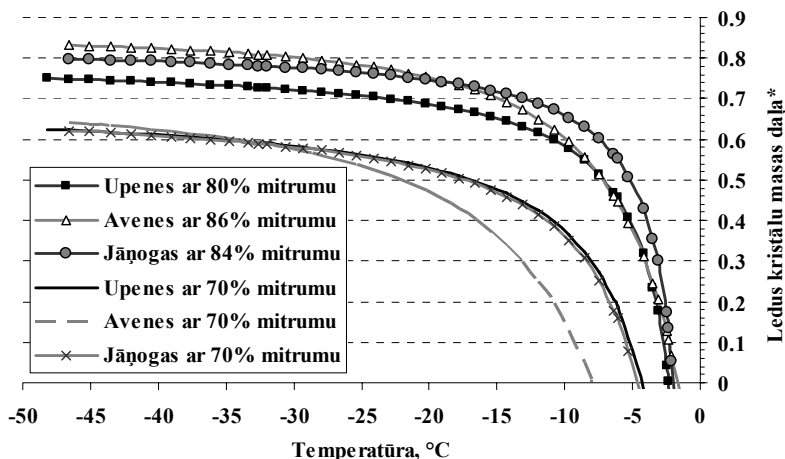


7. att. Šķidrās fāzes stāvokļa pārejas diagramma aveņu ogu paraugā.

Fig. 7 Liquid phase transition diagram in raspberry sample.

T_m – ledus kristālu kušanas temperatūras līkne pēc Robinsona-Stoka vienādojuma/ ice crystal melting curve: equation of Robinson and Stokes; Gordon-Taylor – teorētiskā pārstiklošanās temperatūras līkne pēc Gordona-Teilora modeļa/ Gordon-Taylor theoretical curve of glass transition temperature; Meteor, Norna – eksperimentālie pārstiklošanās temperatūras T'_g dati aveņu šķirnēm/ experimental glass transition temperature T'_g data of raspberry cultivars; T'_m – ledus kristālu kušanas temperatūra ap maksimāli kriokoncentrēto šķidro fāzi/ melting temperature of ice crystals surrounding the maximally cryoconcentrated fruit liquid phase; Meteor T'_g , Norna T'_g – maksimāli kriokoncentrētās parauga šķidrās fāzes pārstiklošanās temperatūra aveņu šķirnēm/ glass transition temperature of maximally cryoconcentrated raspberry liquid phase; W'_g – neizsalstošā ūdens daudzums maksimāli kriokoncentrētajā šķīdumā/ non-freezable water content; I – paraugs šķīdā stāvoklī/ liquid phase of sample; II – daļēji sasalis stāvoklis: šķidrums un ledus kristāli/ partial freeze-concentration; III – ledus un stiklveida stāvoklis/ ice and glass; IV – stiklveida stāvoklis/ glass.

Aprēķināta arī ledus kristālu masas daļa atkarībā no temperatūras svaigiem aveņu paraugiem (kam izvēlēts vidējais aveņu ogu mitruma saturs 86%), svaigiem upeņu paraugiem ar vidējo mitruma saturu 80% un jāpogu paraugiem ar vidējo mitruma saturu 84%, kā arī šo ogu paraugiem ar līdz 70 % samazinātu mitruma saturu (8. attēls).



8. att. Ledus kristālu masas daļa saldētās avenēs, upenēs un jānogās atkarībā no temperatūras.

Fig. 8 The mass fraction of ice in raspberries, black and red currants as function of temperature.

* - *izveidojušos ledus kristālu masas daļa ogās (g ledus uz g parauga)/ the mass fraction of ice in berries (g ice to g sample).*

Ledus veidošanās svaigās ogās sākas $-2,08$ līdz $-2,35$ °C temperatūrā un līdz aptuveni -10 °C 100 gramos produkta jau ir izveidojies no 60 g (avenēs un upenēs) līdz 66 g (jānogās) ledus kristālu. Turpmāk ledus kristālu veidošanās noris daudz lēnāk, līdz paraugs atdziest līdz T'_m temperatūrai, kurā tiek sasniegta maksimālā ledus kristālu masas daļa. Zinot maksimāli izveidojušos ledus kristālu masas daļu, var aprēķināt izsalstošā un neizsalstošā ūdens masas daļu. Ledus kristālus veidojošā ogu paraugu masas daļa ir no 67,0% līdz 80,2% no parauga kopējās masas, bet neizsalstošā ūdens daļa paraugos ir no 3,4% līdz 6,0% no parauga masas.

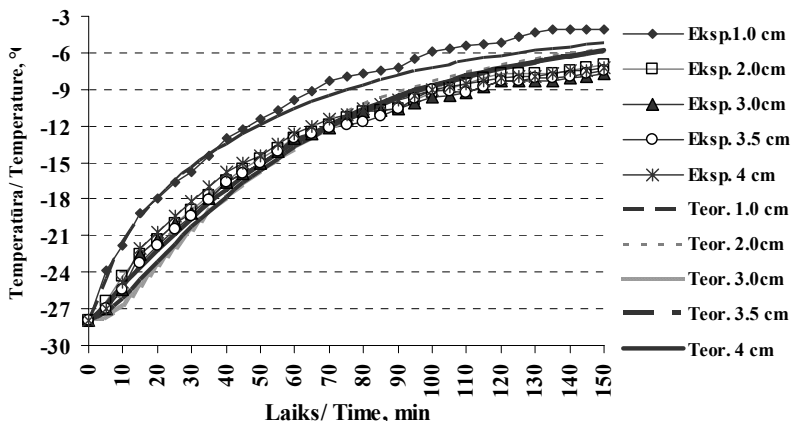
Lai paaugstinātu ogu paraugu kvalitāti tradicionālajā saldētu produktu uzglabāšanas temperatūrā, var nedaudz samazināt ūdens daudzumu paraugos. Pirms saldēšanas samazinot ūdens daudzumu produktā līdz 70%, ledus kristālu masas daļa -20 ± 2 °C temperatūrā uzglabātos ogu paraugos samazinās līdz 47,5% - 53,2% no kopējās parauga masas.

Saldētu aveņu ogu slāņu atlaidināšanas temperatūras dinamikas pētījumi. Izmantojot saldētas ogas desertā, to kvalitāti nozīmīgi ietekmē ne tikai saldēšanas un uzglabāšanas laikā notiekošās izmaiņas, bet arī atlaidināšanas process. Bez tam, izmantojot saldētas ogas pārstrādē, bieži ir nepieciešams prognozēt saldētu ogu atlaidināšanai nepieciešamo laiku un

citus parametrus. Tāpēc atļaidināšanas līdz ogu kušanas temperatūrai procesa pētišanai tika izvēlēti 5 cm biezs saldētu ogu bērts slānis un 5 cm biezs blokā saldētu, kā arī 3 cm biezs blokā saldētu ogu slānis.

Veicot teorētiskā modeļa pielīdzināšanu eksperimentālajiem datiem, izrēķināti siltuma atdeves, siltuma vadītspējas un temperatūras vadīšanas koeficienti. Iegūtie aveņu ogu slāņa atļaidināšanas gaitu raksturojošie parametri ir nozīmīgi atļaidināšanas procesu modelēšanā un prognozēšanā dažāda biezuma slāņos.

Teorētiskais modelis ir labi piemērots dažāda biezuma blokos saldētu aveņu ogu slāņu temperatūras izmaiņu raksturošanai sasilšanas laikā līdz ogu kušanas temperatūrai (9. attēls), bet saldētu aveņu ogu bērtā slānī temperatūras izmaiņas dažādos slāņa punktos ir stipri atšķirīgas un teorētiskais modelis ir pielāgojams tikai tuvināti. Šādā modelī vēl papildus būtu jāietver citi fizikālie procesi: piemēram, gaisa konvekcijas kustība slānī.



9. att. 5,0 cm bieža blokā saldētu aveņu ogu slāņa temperatūras izmaiņas sasilšanas laikā līdz produkta kušanas temperatūrai: teorētiskie un eksperimentālie dati.

Fig. 9 Temperature changes of block frozen 5,0 cm raspberry layer: theoretical and experimental data.

Ogu pārstrādes rūpniecībā, kā arī patēriņam desertā, svarīgi ir prognozēt, pēc cik ilga laika ogas būs atļaidinātas līdz to izmantošanai. Teorētiskais atļaidināšanas modelis ir izstrādāts tikai ogu atļaidināšanai līdz to kušanas sākumam slāņa virspusē. Tāpēc, lai prognozētu iespējamo aveņu ogu izmantošanas temperatūru, kas jau atrodas ogu kušanas fāzē, veikti eksperimentālie atļaidināšanas pētījumi visā atļaidināšanas un kušanas diapazonā, jo tiešā veidā no modeļa atļaidināšanas laiku izrēķināt nav

iespējams. Salīdzinot iegūtos eksperimentālos datus ar teorētiskā modeļa prognozēto atlaidināšanas laiku līdz -5 °C temperatūrai, var konstatēt, ka laiks, pēc kura produkts sasniedz izmantošanas temperatūru, ir aprēķināms ar empīriskām formulām ($\pm 15\%$ kļūdas robežās) (1. un 2. formulas).

$$\tau_{\text{izm. des.}} = A \cdot \tau_2 \quad (1)$$

$$\tau_{\text{izm. pārstr.}} = B \cdot \tau_2 \quad (2)$$

kur $\tau_{\text{izm. des.}}$ – atlaidināšanas laiks līdz ogu izmantošanai desertam;
 τ_2 – nepieciešamais laiks atlaidināšanai līdz -5 °C temperatūrai;
 $\tau_{\text{izm. pārstr.}}$ - atlaidināšanas laiks līdz ogu izmantošanai pārstrādei;
A - koeficients, lai aprēķinātu ogu atlaidināšanas ilgumu līdz to izmantošanai desertā;
B - koeficients, lai aprēķinātu ogu atlaidināšanas ilgumu līdz to izmantošanai pārstrādē.

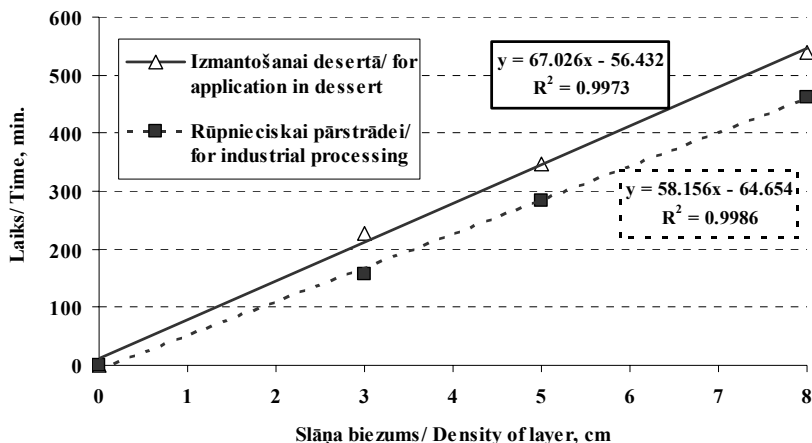
Pēc iegūtajām formulām aprēķināti ogu atlaidināšanas laiki izmantošanai desertam un pārstrādei (3. tabula).

3. tabula

Blokā saldētu aveņu ogu slāņu atlaidināšanas laiks no -20 °C līdz izmantošanas temperatūrai

Slāņa biezums, cm	Laiks atlaidināšanai līdz -5 °C, min.	Koeficients A*	Atlaidināšanas laiks izmantošanai desertā	Koeficients B*	Atlaidināšanas laiks izmantošanai pārstrādē, min.
3	88	2.6	228	1.8	158
5	158	2.2	348	1.8	284
8	257	2.1	540	1.8	463

Atlaidināšanas laiku atkarībā no slāņa biezuma gan ogu izmantošanai desertā, gan rūpnieciskai pārstrādei raksturo lineāra sakarība (10. attēls).



10. att. Blokā saldētu dažāda biezuma aveņu ogu slāņu atlaišināšanas laiks no -20 °C līdz izmantošanas temperatūrai.

Fig. 10 Block frozen raspberry layer thawing time from -20 °C till usage temperature

Saldētu aveņu ogu izmantošanai desertam ir izvēlēta temperatūra -2,4 °C, kas ir par 0,7 °C augstāka nekā slāņa aukstākā punkta kušanas temperatūra; šajā laikā ogas visos slāņa punktos ir beigušas kust un sākušas sasilt. Tas pamatojams tādējādi, ka izmantošanai desertā ir svarīgi, lai ogas būtu atkusušas, bet vēl nesāktu izdalīties daudz sulas. Rūpnieciskajā pārstrādē, ogas izmantojot dažādu produktu ražošanā, nav nepieciešama to pilnīga atkausēšana, bet gan tās jāatlaidina līdz brīdim, kad ir viegli atdalāmas. Tāpēc izvēlēta temperatūra aukstākajā slāņa punktā (-3,6 °C) ir nedaudz zem vidējās kušanas temperatūras (-3,1 °C).

SECINĀJUMI

1. Kopējo skābju un antociānu (antioksidantu un dabisko krāsvielu) saturs pēc saldēšanas paliek nemainīgs visās pētītajās ogās, šķīstošās sausas saturs - aveņu un jāņogu, un karotīnu saturs - aveņu ogās, bet askorbīnskābes saturs visās pētītajās ogās un šķīstošās sausas saturs upenēs samazinās tikai nedaudz, tāpēc saldētas ogas var izmantot kā svaigām ogām līdzvērtīgu izejvielu.
2. Izmainot uzglabāšanas apstākļus pēc saldēšanas, antociānu saturs visās pētītajās ogās un askorbīnskābes saturs aveņu ogās nesamazinās, bet upeņu un jāņogu ogās askorbīnskābes zudumi palielinājās pēc 15 dienu uzglabāšanas mainīgā temperatūrā, kā arī atlaižot +4 °C temperatūrā un otrreiz sasaldējot, tāpēc nepiemērotos apstākļos uzglabātas saldētas ogas var izmantot pārstrādei, bet desertā to uzturvērtības samazinājums ir nozīmīgs.
3. Saldēšana neietekmē pētīto ogu biezeņu un sulu krāsu, bet no saldēta biezeņa vai sulas gatavoti upeņu džemi un jāņogu želejas ir gaišāki. Piemērotākais džemiem ir no saldētām ogām pagatavots upeņu biezenis ar tumšāko un tīrāk sarkano krāsu. Saldētas jāņogu sulas izmantošana želejas pagatavošanā neizmaina jāņogu želeju struktūru un plūstamību, taču saldēšana būtiski samazina stingrību to upeņu šķirņu džemiem, kas saželē svaigā veidā, tāpēc želeju un džemu ražošanā ir izmantojamas nesaželējušas saldētas sulas un biezeņi.
4. Integrētais novērtējums ir pielietojams piemērotāko šķirņu izvēlei saldētu ogu produkcijas ražošanai, kas ļauj atrast vēlamās šķirnes saldētu ogu izmantošanai desertā, produkcijas ar augstu bioloģiski aktīvo vielu saturu iegūšanai un pārstrādei.
5. Neizsalstošā ūdens masas daļa (W'_g) pētītajos ogu paraugos ir 23 – 24%, paraugos ar augstāku ūdens saturu, piemēram, svaigās ogās, būs izsalstošais ūdens. Tāpēc ieteicamā ogu uzglabāšanas temperatūra ir zem maksimāli kriokoncentrētās šķidrās fāzes pārstiklošanās temperatūras T'_g , kas ir no -34 °C līdz -59 °C. Visaugstākā pārstiklošanās temperatūra ir aveņu šķirnes 'Bryanskii Rubin' un upeņu šķirnes 'Ojebyn' paraugiem. Saldētu ogu kvalitāti var paaugstināt, pirms saldēšanas samazinot ūdens daudzumu produktā līdz 70%, kā rezultātā ledus kristālu masas daļa -20 °C temperatūrā uzglabātos ogu paraugos no 70 – 77% samazinās līdz 48 - 53% no kopējās parauga masas.
6. Pētītais un ar eksperimentāliem datiem aprobētais teorētiskais atlaižināšanas modelis ir piemērots blokos saldētu aveņu slāņu temperatūras izmaiņu raksturošanai līdz kušanas temperatūrai, kā arī atlaižināšanas gaitu raksturojošo parametru (siltuma atdeves koeficienti, siltuma vadītspējas koeficients un temperatūras vadīšanas koeficients) noteikšanai, kā arī pārstrādei un desertam izmantojamo ogu atlaižināšanas laika prognozēšanai.

IETEIKUMI RAŽOŠANAI

1. Piemērotākās šķirnes saldētu ogu izmantošanai desertā ir aveņu šķirnes 'Tomo', 'Brigantina' un 'Bryanskii Rubin', upeņu šķirnes 'Detskosel'skaya', 'Yadrenaya', 'Joniniai', 'Chernii Kentavr', 'Selechenskaya' un 'Mara', kā arī jāņogu šķirnes 'Vīksnes Sarkanās', 'Valentinovka' un 'Neimaņa Ķiršu'. Tās izcēlās ar lielām ogām un zemu skābju/cukuru attiecību, kā arī ar nelieliem sulas zudumiem pēc atlaidināšanas un zemu drupanības pakāpi saldētās aveņu ogās.
2. Piemērotākās šķirnes saldētu ogu izmantošanai produkcijas ar augstu bioloģiski aktīvo vielu, askorbīnskābes un antociānu, saturu iegūšanā ir aveņu šķirnes 'Sputnitsa', 'Ariadne', 'Bryanskii Rubin' un 'Brigantina' un upeņu šķirnes 'Iyunsкая', 'Detskosel'skaya', 'Vernisazh', 'Vakariai', 'Triton', 'Titania' un 'Joniniai'.
3. Piemērotākās šķirnes saldētu ogu izmantošanai pārstrādē ir aveņu šķirnes 'Sputnitsa', 'Meteor' un 'Kirzhach', upeņu šķirnes 'Titania', 'Katyusha', 'Triton', 'Zagadka', 'Vernisazh', 'Bagira' un 'Ojebyn' un jāņogu šķirnes 'Vīksnes Sarkanās', 'Neimaņa Ķiršu', 'Varshevicha', 'Holandes Sarkanās' un 'Vierlander'. Šīs šķirnes ir piemērotas komerciālai audzēšanai Latvijas apstākļos, kā arī satur daudz antociānu.
4. Tumšāko un tīrāk sarkano džemu un želeju var iegūt no upeņu šķirņu 'Selechenskaya', 'Triton' un 'Titania' un jāņogu šķirnes 'Vīksnes Sarkanās' ogām.
5. Stingrāko želeju bez pektīna pievienošanas veido balto jāņogu šķirnes 'Werdavia' un sarkano jāņogu šķirnes 'Holandes Sarkanās' ogas.

ACTUALITY AND NOVELTY OF THE RESEARCH

Raspberries and currants are traditional berries in our region. Their importance in the diet is connected with the content of physiologically active compounds and vitamins they have more than most of the tropical fruits. But there is a tendency of recent years in Latvia to decrease the consumption of local fruits and berries and replace them with easy available tropical fruits. Therefore one of the main tasks is to enlarge the availability of local fruits and berries all the year round.

The period when we can eat fresh raspberries, black, red, and white currants is very short – one or two month. It is almost impossible to store fresh berries for winter therefore we must think about processing. Freezing and frozen storage is one of the best preservation methods because the quality of frozen berries is closer to fresh berry quality than other preservation methods. Nowadays freezing is well known industrial preservation method, but still more investigations are necessary in many fields of this sector.

Many investigations made before point at the important influence of cultivar to producing of good quality frozen berries. Moreover as frozen berries and fruits are used more and more like raw material for processing different products then it is important to test the influence of freezing to quality of final product. But still there are few investigations connected with influence of freezing to quality of processed products. Therefore it is necessary to investigate suitability of different cultivars to freezing and influence of freezing to quality of final product.

Many different currant and raspberry cultivars are grown in Latvia, now (more than in other European countries). Those cultivars, which can give higher yield with less financial and human resources, are recommended for commercial growing.

Unfortunately neither commercial nor other cultivars are tested for suitability to freezing and frozen storage. Moreover, most of cultivars, well examined and demanded by Western European processing companies, cannot be grown in Latvia because of different climate. And, properties of those, which can be grown there, can differ. Therefore, it is necessary to examine suitability to freezing and frozen storage of cultivars, grown in Latvia. Consequently, then it would be possible to choose the best cultivars for processing out of very large number of cultivars, and recommend them for growers. Therefore in this study suitability to freezing and processing of commercial, Western European, and new, perspective cultivars is examined.

Research was carried out at the Dobele HPBRS, Latvia University of Agriculture (LUA) during years 1999 – 2004, and in Valencia Polytechnic University, Spain in 2003. The object of the research was 21 raspberry, 32 blackcurrant, 16 red currant and 5 white currant berries and their products.

The aim of the research is evaluate influence of freezing processes to berries and their products to determine suitable raspberry, black, red, and white currant cultivars grown in Latvia for production of frozen berries and their products.

The main tasks are:

1. To evaluate the influence of freezing to berry quality of different raspberry and currant cultivars;
2. To evaluate the influence of freezing to processed product quality of different raspberry and currant cultivars;
3. To evaluate the influence of storage regime to chemical composition of berries;
4. Select suitable cultivars for processing of frozen berries;
5. To find possible solutions for frozen-storage regime improvement by determination of glass transition temperature of maximally cryo-concentrated matrix and establishment of state diagrams of liquid phase for samples of different berry varieties.
6. To study a thawing process and to approbate the theoretical model of thawing corresponding to experimental data in order to calculate parameters of thawing process and to estimate thawing time.

Novelty of the research. For the first time in Latvia suitability of berries and products of raspberries, red, white, and black currant cultivars to freezing is examined. The best cultivars for use of frozen berries in dessert, processing and for obtaining of products with high content of biologically active compounds (or functional foods) are determined.

For the first time glass transition temperature (T'_g) is detected in frozen berries of several cultivars of raspberries, red, white, and black cultivars grown in Latvia. Influence of water content and water activity (a_w) to glass transition process in berries is examined as well.

Experimental research of thawing process in raspberries and optimization of previously developed model for thawing process also is carried out.

The results of this research can be used to choose the best cultivars for berry processing. Optimized and experimentally verified model developed at the Latvia University of Agriculture, Faculty of Information Technologies will help to explain and predict physical processes in berries during thawing and to find parameters that describe this process.

Approbation of the scientific work. Results of the research are presented at 11 international scientific conferences and symposiums in Check Republic, Estonia, Scotland (UK), Belgium, Lithuania, Italy, Poland, Byelorussia and Spain, and in 5 conferences in Latvia. The results are published in 6 internationally recognized and 5 local scientific publications

in Latvian and English languages (the list of attended conferences and publications is in pages 5 - 7).

Acknowledgements.

I express gratitude to scientists of the Dobele HPBRS for the possibility to carry on research in their experimental fields and laboratories, and for their advice and support. Great thanks to Dr. biol. Sarmīte Strautiņa for help and consultations in selection of berry cultivars.

I give thanks for the opportunity to do a part of the research at the laboratories of Food Technology department in Valencia Polytechnic University, Spain, using Socrates Erasmus Scholarship and subsidy from Ministry of Agriculture from Republic of Latvia. Big thanks also to the lecturer Dr. sc. ing. Gemma Moraga of the Valencia Polytechnic University for consultations and practical help in carrying experiments at scientific laboratories of Valencia Polytechnic University.

MATERIALS AND METHODS

The object of the research was berries and products of 21 raspberry, 32 blackcurrant, 16 red currant and five white currant cultivars. Cultivars recommended for commercial growing, as well as new perspective cultivars were included in the research. The research was carried out at Dobele HPBRS and the Latvia University of Agriculture (LUA) from 1999 to 2004 and in Valencia Polytechnic University in 2003.

To evaluate the influence of freezing to quality of berries, whole berries and their processing products were analyzed before and after freezing, and the processes of freezing and thawing were investigated (Fig. 1).

After harvesting berries were sorted, frozen in freezer PORKKA BF 710 at temperature -25 ± 2 °C, then packaged and stored in freezer chamber VTK 201 U at the temperature -20 ± 2 °C.

Frozen raspberry jam with and without seeds, blackcurrant jams, and red/white currant juice were prepared with mechanical rubbing through a net. Then sugar was added, and the product was packaged in polypropylene containers 0.2 to 0.5 kg, which were frozen at temperature -25 ± 2 °C and stored at temperature -20 ± 2 °C. 20 % of sugar was added to all products, except samples for triangle test, were 10 % of sugar were added.

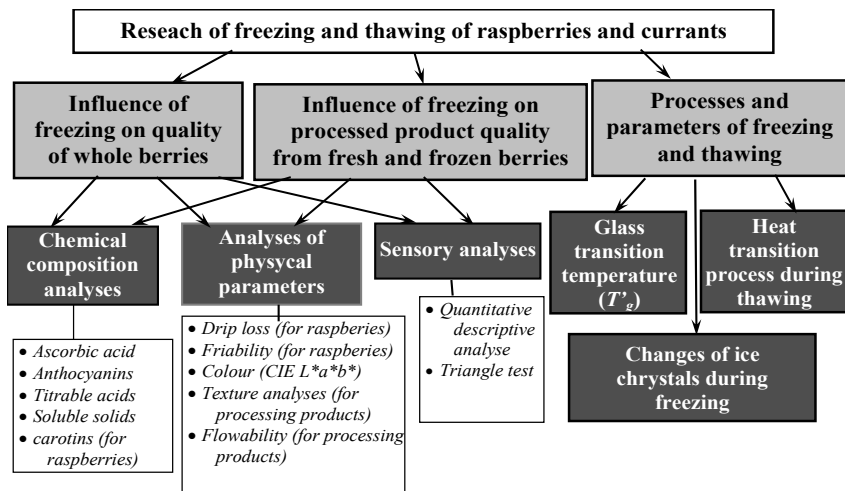


Fig. 1. Chart of the experiments.

The following tests were carried out for fresh and frozen berries, and processed products.

1) Chemical analysis:

- Contents of ascorbic acid by iodine method (Давров и Штенберг, 1950) in fresh and frozen berries, and frozen blackcurrant purees;
- Contents of anthocyanins by spectrophotometric method (Fuleki and Francis, 1968) in fresh and frozen berries, and frozen blackcurrant purees;
- Contents of total (titrable) acids, by titration with 0.1 N NaOH (ISO 750:1998) in fresh and frozen berries, and frozen blackcurrant purees;
- Contents of soluble solids by refractometer ATAGO N20 (ISO 2173:2003) in fresh and frozen berries;
- Carotenoids by spectrophotometris method at 440 nm (Оренман, 1970) in raspberry berries.

2) Analysis of physical parameters:

- Drip loss after thawing in raspberry berries – berries thawed at temperature +17 - +20 °C, percent of drip loss from initial mass is calculated;
- Friability of frozen raspberries – frozen berries were steadily shaken in freezing chamber VTK 201 at temperature -20±2 °C;

- Color in CIE $L^*a^*b^*$ and $L^*C^*h^\circ$ color spaces of raspberry and blackcurrant purees, red/white currant juices, and black, red and white currant jams – by spectrophotometer CM 3600;
- Texture analysis of blackcurrant puree and jam, and red/white currant jelly – deformation force (N) was measured by texture analyzer TA-XTPlus;
- Flowability was measured in blackcurrant puree and jam, and red/white currant jelly by consistometer „QUIMA”, dividing flowing distance with a weight of the sample (Bourne, 1982).

3) Sensory analysis:

- Quantitative descriptive analysis to raspberry berries and purees (Meilgaard et al, 1999; Strautniece, 2004);
- Triangle test to raspberry puree and blackcurrant jam, ISO 4120:1983 (Meilgaard et al, 1999;

Berries were thawed for 10 – 15 minutes for chemical analysis.

Berries for sensory analysis were completely thawed and heated to ambient temperature ($+20 \pm 2$ °C).

Research of **ice crystal growth** were carried out in special freezing panel (LTS 350) on stereomicroscope Leica ICC A M2-393-004, using temperature and freezing speed regulation equipment TMS 94.

Glass transition temperature T'_g of maximally crio-concentrated unfrozen matrix and melting point temperature of glassy state T'_m were determined by *Differential Scanning Calorimetry* or DSC method for samples of frozen-stored and thawed purees of eight raspberry, seven blackcurrant, and one red currant cultivars. In order to get samples with different water content and water activity, fresh and freeze-dried samples of two raspberry, two blackcurrant, and one redcurrant cultivar was placed in hermetical chambers with saturated salt solutions until they reach a constant weight. Samples were analyzed by DSC equipment 220CU-SSC5200 (Seiko instruments Inc.). Samples were initially frozen (by liquid nitrogen) from $+20$ to -35 °C (freezing speed 2 °C min^{-1}), then kept in constant temperature -35 °C for 30 min., and then frozen to -100 °C (freezing speed 10 °C min^{-1}). During this treatment maximal ice crystallization was reached. Then samples were heated from -100 to $+40$ °C with speed 5 °C min^{-1} (Moraga et al., 2004). GAB model (Van den Berg & Bruin, 1981) was used to estimate changes of water sorption isotherms of samples. Experimental T'_g data were compared to Gordon and Taylor model (Gordon and Taylor, 1952) in order to determine water plasticization effect. For prediction of ice melting curves the Robinson and Stokes equation was used (Robinson and Stokes, 1965), and the ice fraction was calculated.

Temperature of raspberry layer in different depths during thawing was measured by thermo-pairs. Obtained experimental data were compared to theoretical model of frozen product thawing developed at the Latvia University of Agriculture (Iljins et al., 2004).

Research of **frozen storage regime** influence on chemical composition of berries was carried out at the Dobeles HPBRS in 2004. Raspberry, black, and red currant berries were frozen and then stored in 4 different regimes (Fig. 2).

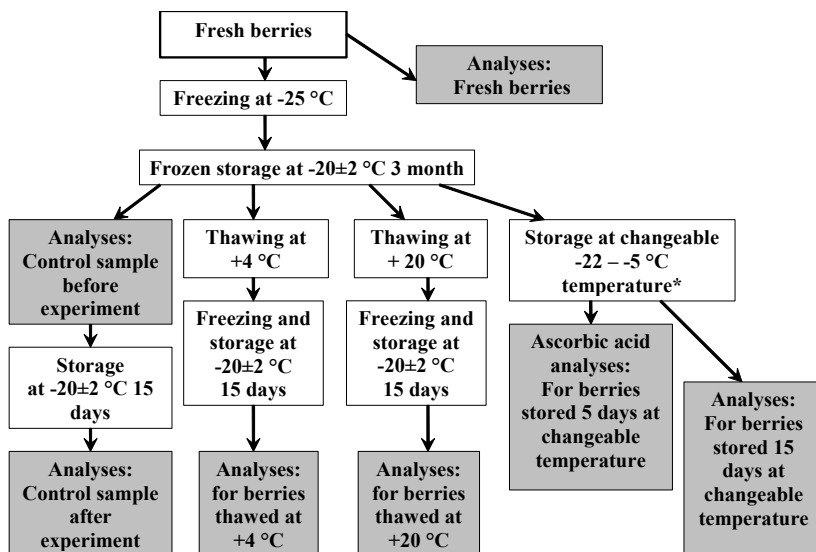


Fig. 2. Storage of raspberries, blackcurrants and red currants in different regimes

* temperature was changed from $-22 \div -5$ °C every day (every day freezer was turned off for 4 to 5 hours until temperature in the product reached -5 °C, then freezer was turned on again and temperature decreased to -22 °C)

Necessity of the experiments of the “altered” storage regimes is based on observations of several authors that there is lack of research for storage conditions, which are closer to frozen product use in processing companies and storage in sales network (Potter & Hotchkiss, 1995; Skrede G., 1996).

In order to test influence of **freezing to jelly forming activity and color** of blackcurrant and red/white currant products, in year 2003 five blackcurrant products were prepared: fresh and frozen puree from fresh berries, puree from frozen berries, and boiled jam from fresh and frozen

puree. Four red/white currant products were prepared: fresh and frozen juice (from fresh berries), and boiled jelly from fresh and frozen juice.

For **data analysis** descriptive statistics and ANOVA were performed, which was used to test significance of influence of freezing, variety, year and the other parameters to berries and their product quality. Duncan's test was used to test significance of differences between varieties. Relationships between tested parameters were calculated by Pearson correlation analysis (Paura un Arhipova, 2002). Software SPSS 11.0 was used for data analysis.

Principles of **Hierarchy modeling and Multi-criteria analysis** (Мартинов, 1987) were used to establish a complex value of genotypes. The analysis allows comparing the complex values of different genotypes, using various parameters in different measurement systems. Each trait group and individual trait has specific contribution coefficient in the final evaluation. The best variety will appear to be as close as possible to the desired (optimum) value in parameters as many as possible. The obtained multi-criteria evaluation coefficient (SD) describes deviation of the genotype from desired values; consequently, the best genotype will have the lowest SD value. Data of chemical composition, physical properties, and few agronomical parameters of frozen berries from 15 raspberry, 32 blackcurrant, and 16 red currant cultivars were included in the analysis. This analysis helps to select the most suitable cultivars for production of different frozen berry products.

Multi-criteria analysis of raspberries and blackcurrants were performed to select the best cultivars for utilization of frozen berries in dessert, in production of product with high contents of bioactive components, and processing. Multi-criteria analysis of red currants was performed to select the best cultivars for utilization of frozen berries in dessert and processing. Analysis for suitability of red currant cultivars to production of products with high content of bioactive components was not performed, because there were not analyzed several important constituents of red currant bioactive compounds (for example, pectins). Data from every year was included in analysis as separate parameter. The same agronomical parameters were used for every year; it was an average from experts' estimates.

RESULTS AND DISCUSSION

Influence of freezing to whole berry quality

Freezing and frozen storage significantly changed ascorbic acid content in all tested berry crops. Maximal ascorbic acid losses after frozen storage were 55.85 % in raspberries, 19.79 in blackcurrants, and 25.73 in red/white currants. Freezing and frozen storage did not change contents of anthocyanins and total acids in all tested berry crops, or content of total carotenoids in raspberries. Content of soluble solids significantly changed only in blackcurrant berries (Table 1).

Drip loss and friability in raspberries was influenced mainly by meteorological conditions in growing season. Raspberry cultivars 'Jewel', 'Helkal', and 'Kirzhach' had the smallest drip loss; 'Solnishko', 'Skromnitsa', 'Tomo', 'Norma', and 'Meteor' had the lowest friability.

Freezing significantly reduced sensory value of raspberry color and sweetness, though in general frozen-stored (and thawed) berries did not significantly differ from fresh berries (Fig. 3). Differences between frozen and fresh berries in sensory parameters depended on cultivar. The best sensory profiles after frozen storage had cultivars 'Zvezdochka' and 'Skromnitsa'.

Influence of storage regimes on chemical composition of frozen berries

Ascorbic acid content in raspberries after frozen storage in altered regimes (Fig. 2) did not decrease more significantly than in those, stored in -20 ± 2 °C. Ascorbic acid content in red and black currant berries, stored in altered regimes, was significantly different from those, stored in -20 ± 2 °C. The highest losses of ascorbic acid were after 15-day storage in changing temperature and once thawed to temperature $+4$ °C and again frozen. Altered storage regimes did not change contents of anthocyanins after storage in blackcurrant berries, but even slightly increased the contents in raspberries and red currants. The highest content of soluble solids was in berries after 15-day storage in changing temperature, and the lowest – in once thawed to temperature $+4$ °C and again frozen berries.

Multi-criteria analysis of frozen berries

Multi-criteria analysis was performed to evaluate the suitability of tested cultivars for **utilization of frozen berries in dessert**, where the

highest contribution coefficient was given to friability, drip loss, the berry weight, and acid/ sugars ratio in raspberries, and berry weight and acid/sugar ratio in currants. The highest contribution for getting of **products with high contents of bio-active compounds** was given to the contents of ascorbic acid and anthocyanins in frozen berries. The high content of bio-active compounds is important also in evaluation of berry **suitability to processing**, though the highest contribution was given to suitability for commercial growing, because in commercial processing of berries low price and high availability of a raw material is essential. High anthocyanin contents and productivity were also important in this analysis. As a result of this evaluation, raspberry, black, red, and white currant cultivars for the specific use were selected (Table 2).

The influence of freezing on quality of berry processing products

Quality evaluation of frozen raspberry processing products.

Freezing did not significantly change the colour of raspberry purees. It means that it is possible to store raspberry purees in frozen condition without notable quality changes, compared with fresh purees. The cultivars 'Meteor' and 'Balzam' are the most suitable for preparing of frozen raspberry purees with and without seeds.

Evaluation of freezing influence on blackcurrant processing products. The quality of blackcurrant products from fresh and frozen berries was influenced by freezing. Comparing chemical composition of frozen purees from blackcurrant berries of 22 cultivars with fresh and frozen blackcurrant berry chemical composition, it was found that the content of ascorbic acid in frozen blackcurrant puree is significantly lower than in fresh and frozen berries (21% losses in average, compared with fresh berries). The extraction of anthocyanins from frozen blackcurrant puree is significantly grater than from berries what could be explained with some localization individualities of anthocyanins. The content of total acids did not differ between samples.

Blackcurrant puree from frozen berries had darker and more pure red colour, compared with fresh and frozen purees and jams from fresh berries. It can be explained with different spectrum of the products – orange colour of the products from frozen berries is not as strong as in the others, because there is no specific spectral maximum at 640 – 660 nm (Fig. 4). Moreover, puree from frozen berries has hue angle difference from pure red Δh° lower than in the other products (average 2.48°), therefore it's colour is

almost pure red. Δh° in the other products is higher, therefore they are more orange-brown.

Jams from fresh puree were significantly darker than those from frozen purees. Products from cultivars 'Selechenskaya', 'Triton', and 'Titania' had better colour, because their colour is darker and more pure red.

Freezing significantly reduced firmness of the products that were prepared from purees, which formed jelly in fresh stage. Products from cultivars 'Zagadka', 'Titania', 'Triton', and 'Selechenskaya', which had firmer structure before boiling, formed less firm products after boiling. Therefore it can be concluded that blackcurrant pectins are more susceptible to recurrent jelling than to freezing.

Freezing influence on red and white currant products. Red currant jelly from frozen juice was lighter than the other red currant products (Fig. 5). It might be due to destructive influence of freezing to the raw material (juice).

Cultivar 'Viksnes Sarkana' had the darkest and the most pure red colour. Colour of red currants correlated with their anthocyanin content, therefore it is possible to estimate amount of anthocyanins in red currants from their colour.

Use of frozen juice to prepare red/white currant products did not change consistency and flowability of the products. Products of white currant 'Werdavia' and red currant 'Red Dutch' had the firmest structure and lowest flowability.

The processes and parameters of freezing and thawing

Changes of ice crystals in tissues of frozen berries. The investigations of ice crystal growing during freezing of raspberry and red currant tissues were carried on to prove the changes of ice crystals and structure of berry tissue during freezing in traditional (-20 ± 2 °C) temperature and during thawing process. The smallest ice crystals formed during quick freezing and just after the reaching of minimal temperature, but by continuing to keep berries in this temperature, the recrystallization process and ice crystal growing begins. In addition, keeping berries at -20 °C for half an hour or more the growing of ice crystals is going quite fast. The ice crystals in tissues of berries frozen at -40 °C temperature were much smaller and their growth was slower. Continuing thawing process till $+10$ °C cells of (both frozen at -20 °C and at -40 °C) raspberries and red currants were not damaged. The experiment shows that the temperature chosen for frozen storage is sufficient to keep good quality of berries also after thawing. But if it is necessary to keep frozen berries for longer period

(6 to 12 months) then storage temperature at -20 °C might not be sufficient for maintaining cell structure of berries.

Glass Transition process in berries of different raspberry and black and red currant cultivars. As in previous experiments freezing at -20±2 ° significantly decreased ascorbic acid and soluble solids contents as well as several sensory and physical properties, it was important to find freezing and frozen storage conditions, which would not decrease quality of frozen berries. Such constant storage conditions are possible, if berries are stored at the temperature below glass transition temperature of maximally crio-concentrated unfrozen matrix (Roos, 1995; Torreggiani et al., 1999). Therefore next task of the research was to find glass transition temperature in raspberry, black, red, and white currant cultivars and try to find out possible ways to raise this temperature above economically reasonable storage temperature.

Glass transition temperatures (T'_g) of eight raspberry, seven blackcurrant and one red currant cultivar samples in the experiment ranged between -34.37 °C and -58.77 °C (Fig. 6).

Cultivar significantly influenced T'_g of raspberries and blackcurrants. The highest T'_g was in raspberry cultivar 'Bryanskii Rubin' (-34.37±0.25 °C). Yellow raspberry cultivar 'Helcal' had the lowest T'_g (T'_g = -58.77±0.05). The highest T_g in blackcurrants was in 'Ojebyn' (-53.33±0.24 °C), and the lowest in 'Belorusskaya Sladkaya' (-56.43±0.19 °C). Glass transition temperature of maximally crio-concentrated matrix in redcurrant cultivar 'Red Dutch' was higher than in blackcurrants (T'_g = -51.87±0.45).

Gordon-Taylor model was used to find dependence of glass transition temperature from water content in product (Table 2.1., Equation 4). Fitted glass transition temperature of anhydrous solids $T_{g(as)}$ of raspberries, blackcurrants and red currants lies between 30.21 and 62.7 °C, and Gordon-Taylor constants k – between 3.59 and 4.28. R^2 between the experimental data and the model are high (0.923 – 0.993), which indicates high correlation between them.

The phase transition diagram of berry unfrozen liquid matrix is made to find the most suitable storage conditions for raspberry, black and red currant samples. The data of necessary melting curves are calculated by equation of Robinson-Stokes (Robinson and Stokes, 1965) and GAB model of desorption process. The T_g data calculated by model of Gordon-Taylor and data of experimental glass transition temperature T'_g of maximally cryoconcentrated liquid phase and melting temperature T'_m are included, too (Fig. 7).

The mass fraction of non-freezable water in evaluated samples (W'_g) was 23.44 to 24.19%, it means that samples with higher water content will

have freezable water. Therefore the recommended storage temperature of fresh berry samples is below glass transition temperature of maximally cryoconcentrated unfrozen matrix.

The glass transition temperature of most purees, except that of raspberry cultivar 'Bryanskii Rubin', was below $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, which is not suitable temperature for mass storage because of high expenses. One of the possible solutions to raise this temperature could be raising the solution concentration (Chiralt et al., 2001; Moraga et al., 2004).

Mass fraction of ice, depending on temperature, was calculated in the fresh raspberry (with an average water content assumed to be 86%), blackcurrant (average water content 80%), and redcurrant (average water content 84%) samples as well as in the samples with reduced water content to 70% (Fig. 8). Ice formation in fresh berries begins at temperature -2.08 to $2.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ and from 60 g (in raspberries and blackcurrants) to 66 g (in red currants) of ice per 100 g of the sample is formed, before temperature is decreased until approximately $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Then ice formation continues much slower, until the sample temperature is decreased to T'_m temperature (melting temperature of ice crystals surrounding the maximally cryoconcentrated berry liquid phase), in which the maximum mass fraction of ice crystals is formed. Mass fraction of freezable and non-freezable water can be calculated from initial water content and the maximum mass fraction of ice crystals in the sample. In the tested samples, mass fraction of ice crystals (freezable water) was 67.0% to 80.2% and mass fraction of non-freezable water was 3.4% to 6.0% from the total sample mass.

Water content in the berry samples can be somewhat reduced in order to increase frozen berry quality in traditional storage temperature ($-20\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$). If water content before freezing is reduced to 70%, mass fraction of ice crystals in the samples, stored at the temperature $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, decreases to 47.5% - 53.2% from the total sample mass.

Research of frozen raspberry layer thawing temperature dynamics. Using frozen berries in dessert their quality is influenced not only by the changes during freezing and frozen storage but also by thawing. Moreover for consumption of frozen berries in processing, it is necessary often to predict thawing time of frozen berries and other parameters. Therefore 5.0 cm thick bulk frozen raspberry layer, 5.0 cm thick block frozen raspberry layer and 3.0 cm thick block frozen raspberry layer were chosen for studying the thawing process.

Comparing theoretical model with experimental data temperature coefficients of heat emission, conductivity coefficient, and thermo conductivity coefficient of the layer were calculated. These raspberry layer

thawing process parameters are important in thawing process modelling and prediction in different layers.

Theoretical model is well fitted for characterisation of temperature changes till melting point in different block frozen raspberry layers (Fig. 9) but in bulk frozen raspberry layer temperature changes are different and theoretical model is fitted only approximately. Some other physical processes should be included in such model like air convection in layer.

In berry processing industry and also for consumption in dessert it is necessary to predict how long thawing time is necessary till consumption stage of berries. Theoretical model is developed only as far as thawing of berries till beginning of melting in outside part of layer. Therefore to predict the raspberry using temperature the experimental investigations were carried on in all thawing and melting zone because it is not possible to calculate thawing time straight from model. In comparison of experimental data with predicted thawing time till -5 °C temperature it is possible to establish time in which the product reaches the consumption temperature with empirical formulas (in range of $\pm 15\%$) (Equations 1 and 2).

$$T_{\text{des.}} = A \cdot \tau_2 \quad (1)$$

$$T_{\text{proces.}} = B \cdot \tau_2 \quad (2)$$

- where $\tau_{\text{des.}}$ – thawing time necessary for thawing berries till consumption in dessert;
 τ_2 – time necessary for thawing till -5 °C temperature;
 $\tau_{\text{proces.}}$ – thawing time necessary for thawing berries till processing consumption;
A – coefficient for the calculation of thawing time till consumption in dessert;
B – coefficient for the calculation of thawing time till processing stage.

The time necessary for consumption of berries in dessert and for processing is calculated with acquired formulas (Table 3 and Figure 10).

Table 3.

**Block frozen raspberry layer thawing time from –20 °C
till usage temperature**

Density of layer, cm	Time necessary for thawing till -5 °C, min.	Coefficient A*	Thawing time for application in dessert, min	Coefficient B*	Thawing time for use in industrial processing, min.
3	88	2.6	228	1.8	158
5	158	2.2	348	1.8	284
8	257	2.1	540	1.8	463

Thawing time in order of layer thickness both for consumption in dessert and for processing is characterised by linear connection (Fig. 10).

For consumption of frozen berries in dessert $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperature is chosen, which is $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ higher than melting temperature in the coldest point of layer. Berries at this stage in all points of layer have finished the melting process and warming has begun. For consumption in dessert it is important that berries have finished melting but the drip loss should be minimal. For industrial processing it is not necessary to get fully thawed berries but they should be defrosted till the moment when it is easy to divide berries. Therefore chosen temperature in the coldest point of layer ($-3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$) is below the average melting temperature ($-3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

CONCLUSIONS

1. The total anthocyanins (anti-oxidants and natural colorants) and titrable acids in berries of different raspberry, black, red and white currant cultivars, soluble solids content in berries of different raspberry, red and white currant cultivars and carotenoids in berries of different raspberry cultivars does not change after frozen storage. Only little decreasing of ascorbic acid in all tested berries and soluble solids content in blackcurrants is observed, therefore frozen berries can be used in processing with an equal value of fresh berries.
2. Ascorbic acid content in raspberry and anthocyanin content in blackcurrant berries do not change at altered storage conditions after freezing, though losses of ascorbic acid in black and red currant berries increased after 15-day storage in floating temperature and after thawing at +4 °C temperature and second-time freezing. Therefore berries, stored at unsuitable conditions, can be used for processing, however, decrease of nutritional value is important for dessert.
3. The colour of raspberry puree is not affected by freezing but jams and jellies, made from frozen blackcurrant puree and red currant juice are lighter. The most suitable for blackcurrant jams is puree from frozen berries with the darkest and more pure red colour. The use of frozen red and white currant juice for processing jellies does not change their texture and flowability, but the texture strength is significantly lower in blackcurrant jams of those cultivars which can make jellies in fresh stage, therefore frozen juices and purees, which does not form a jellylike structure, can be used for jam and jelly production.
4. Multi-criteria analysis is useful for selection of suitable cultivars for production of frozen berries in dessert, of products with high contents of bioactive components, and processing.
5. Mass fraction of non-freezable water (W'_g) in studied samples is 23 – 24%; the samples with higher water content, for example, fresh berries, will contain freezable water. Therefore recommended berry storage temperature is below glass transition temperature of the maximally cryoconcentrated unfrozen matrix (T'_g), which is ranging from -34.37 – -58.77 °C in the studied samples. The samples of raspberry cultivar 'Bryanskii Rubin' and blackcurrant cultivar 'Ojebyn' have the highest T'_g . The quality of frozen berries can be improved by reducing water content in the product to 70% prior to freezing, which results in decreasing of the mass fraction of ice crystals at temperature -20 °C from 70 – 77% to 48 – 53%.
6. Studied and approbated with experimental data theoretical thawing model is suitable for characterisation of temperature changes till melting point in different block frozen raspberry layers as well as for calculation of parameters of thawing process (temperature coefficients of heat emission, conductivity coefficient, and thermo conductivity coefficient) and estimation of berry thawing time for processing and dessert.

SUGGESTIONS FOR INDUSTRY

1. The most suitable cultivars for utilisation berries in dessert are raspberry cultivars 'Tomo', 'Brigantina' and 'Bryanskii Rubin', blackcurrant cultivars 'Detskosel'skaya', 'Yadrenaya', 'Joniniai', 'Chernii Kentavr', 'Selechenskaya' and 'Mara', and also red currant cultivars 'Viksnes Sarkanās', 'Valentinovka' and 'Neimana Kirsu'. They were conspicuous with big berries and low acid/sugar ratio as well as with little drip loss after thawing and low friability level in frozen raspberries.
2. The most suitable cultivars for utilisation berries in production of products with high contents of bioactive components: ascorbic acid and anthocyanins, are raspberry cultivars 'Sputnitsa', 'Ariadne', 'Bryanskii Rubin' and 'Brigantina' and blackcurrant cultivars 'Iyunsкая', 'Detskosel'skaya', 'Vernisazh', 'Vakariai', 'Triton', 'Titania' and 'Joniniai'.
3. The most suitable cultivars for utilisation berries in processing are raspberry cultivars 'Sputnitsa', 'Meteor' and 'Kirzhach', blackcurrant cultivars 'Titania', 'Katyusha', 'Triton', 'Zagadka', 'Vernisazh', 'Bagira' and 'Ojebyn' and red currant cultivars 'Viksnes Sarkanās', 'Neimana Kirsu', 'Varshevicha', 'Red Dutch' and 'Vierlander'. These cultivars are suitable for commercial growing in Latvian conditions as well as contain big amount of anthocyanins.
4. Blackcurrant cultivars 'Selechenskaya', 'Triton' and 'Titania' and red currant cultivar 'Viksnes Sarkanās' are suitable for production of jam and jelly with the darkest and more pure red colour.
5. White currant cultivar 'Werdavia' and red currant cultivar 'Red Dutch' are forming the strongest jelly texture without adding of pectin.

