



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE

PĀRTIKAS TEHNOLOĢIJAS FAKULTĀTE
FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY



Laila Vilmane
Mg. sc. ing.

BEZGLUTĒNA MILTU UN TO IZSTRĀDĀJUMU IZPĒTE

***INVESTIGATION OF GLUTEN-FREE FLOUR
AND ITS PRODUCTS***

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*

Jelgava
2015

Promocijas darba vadītāja /

Scientific supervisor:

Vad. pētniece, Dr. sc. ing. **Evita Straumīte**

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers:*

Prof., Dr. habil. sc. ing. **Imants Atis Skrupskis** (Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija / *Latvia University of Agriculture, Latvia*)

Prof., Dr. habil. med. **Renāte Ligere** (Latvijas Universitāte, Latvija / *Latvia University, Latvia*)

Doc. / Assit. Prof., Dr. med. **Laila Meija** (Rīgas Stradiņa universitāte, Latvija / *Rīgas Stradiņš University, Latvia*)

Darba izstrāde veikta ar ESF projekta „Jaunas zinātniskās grupas izveide daudznozaru pētījumam par graudaugu vietējā selekcijas materiāla izvērtēšanu pēc tā diētiskā potenciāla raksturojošiem rādītājiem un izmantošanas iespējām hronisku zarnu slimību prevencijā” (vienošanās Nr. 2013/0072/IDP/1.1.1.2/13/APIA/VIAA/032) un Valsts Pētījumu Programma „Lauksaimniecības resursi ilgtspējīgai kvalitatīvas un veselīgas pārtikas ražošanai Latvijā (AgroBioRes)” (2014–2017.), projekta Nr. 4. „Vietējo lauksaimniecības resursu ilgtspējīga izmantošana kvalitatīvu un veselīgu pārtikas produktu izstrādei (PĀRTIKA) atbalstu.

Doctoral thesis has been worked out by financial support of ESF project „Establishment of new scientific group for multi-branch research for assessment of local cereal material on characteristics determining the dietary potential and their use possibilities in the prevention of chronic bowel diseases“ (agreement No. 2013/0072/IDP/1.1.1.2/13/APIA/VIAA/032) and National Research Programme “Agricultural Resources for Sustainable Production of Qualitative and Healthy Foods in Latvia” (AgroBioRes) (2014–2017), project No. 4 “Sustainable use of local agricultural resources for qualitative and healthy food product development” (FOOD).



VPP AgroBioRes

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2015. gada 27. augustā plkst. 10⁰⁰ 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 August 27, 2015, at 10⁰⁰ a.m. in auditorium 145, at the Faculty of Food Technology of LLU, Liela street 2, Jelgava.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā Lielajā ielā 2, Jelgavā, LV-3001, un interneta (pieejams: <http://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>). Atsauksmes sūtīt Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes sekretārei LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes docentei Dr. sc. ing. **I. Beītānei** (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://llufb.llu.lv/llu-theses.htm>. References are welcome to send to Dr. sc. ing. **I. Beītāne**, 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	4
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA	6
MATERIĀLI UN METODES	9
PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN DISKUSIJA	14
1. Patērētāju aptaujas rezultātu analīze	14
2. Bezglutēna miltu un maizes marķējumā norādītās uzturvērtības informācijas izvērtējums	14
3. Auzu olbaltumvielu raksturojums no bezglutēna diētas viedokļa	18
4. Bezglutēna miltu analīze	21
5. Jaunu produktu izstrāde un analīze	28
SECINĀJUMI	37
PRIEKŠLIKUMI	38

CONTENT

TOPICALITY OF THE RESEARCH	39
APPROBATION OF THE RESEARCH	41
MATERIALS AND METHODS	41
RESULTS AND DISCUSSION	44
1. Analysis of results of consumers` survey	44
2. Evaluation of nutritional information as found on the lables of gluten-free flour and bread	44
3. Characterisation of oat protein from the perspective of gluten-free diet	47
4. Analysis of gluten-free flour	48
5. Development and analysis of new products	52
CONCLUSIONS	58
PROPOSALS	59

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Graudaugu produkti veido uztura pamatu, jo ar oglhidrātiem un olbaltumvielām, ko tie satur, cilvēks uzņem gandrīz divas trešdaļas dienā nepieciešamo kaloriju, turklāt tie ir svarīgs B grupas vitamīnu, minerālvielu un šķiedrvielu avots.

Celiakija ir gremošanas trakta autoimūna saslimšana, ko izraisa glutēna nepanesība (Zandonadi *et al.*, 2009). Tā ir viena no visbiežāk sastopamajām slimībām, kas turpinās visas dzīves laikā, tā skar apmēram 0,5–1,0% no visiem iedzīvotājiem pasaulē (Catassi, Fasano, 2008; Ludvigsson *et al.*, 2014). Eiropā ar celiakiju sirgst viens no 130–550 iedzīvotājiem, bet ASV – viens no 133 iedzīvotājiem (McLoughlin *et al.*, 2003; Gujral *et al.*, 2012). Pēc LR Veselības ministrijas datiem 2013. gadā Latvijā oficiāli reģistrēts 1200 bērnu un 5000 pieaugušo, kam konstatēta celiakija, bet faktiskais skaits varētu būt lielāks, jo arī pasaulei ir novērotas līdzīgas tendences.

Celiakiju izraisa graudu olbaltumvielas ar lielu prolamīnu īpatsvaru. Prolamīnam raksturīgs augsts aminoskābju proliņa un glutamīna / glutamīnskābes saturs. Šīs abas aminoskābes ir cieši saistītas, tāpēc dažkārt tās nav iespējams izdalīt atsevišķi (Ramakrishan *et al.*, 2004). Prolamīnu veidojošo aminoskābju sastāvs, daudzums un secība nosaka graudaugu piemērotību cilvēkiem ar celiakiju (Guilbert *et al.*, 2002; Pietzak, Fasano, 2005). Prolamīns kviešos ir gliadīns, miežos – hordeīns, rudos – sekalīns, auzās – avenīns, rīsos – orizīns un kukurūzā – zeīns (Belitz *et al.*, 2009b).

Komisijas regula Nr. 41/2009 par tādu pārtikas produktu sastāvu un marķēšanu, kas piemēroti cilvēkiem, kuri nepanes lipekli, noteic, ka bezglutēna produkti ir īpašas diētas pārtikas produkti, kas ražoti, sagatavoti un / vai apstrādāti, lai būtu piemēroti cilvēkiem, kuri nepanes lipekli. Savukārt lipeklis (glutēns) tiek definēts kā kviešu, rudu, miežu, auzu vai to krustoto šķirņu olbaltumviela un tās atvasinājumi, ko daži cilvēki nepanes un kas nešķīst ūdenī un 0,5 M NaCl šķidumā.

Cilvēkiem ar celiakiju, lai dzīvotu pilnvērtīgu dzīvi, vienīgais risinājums ir visas dzīves laikā ievērot bezglutēna diētu. Celiakijas slimniekiem ievērojot stingru diētu, t.i. lietojot uzturā produktus, kas nesatur glutēnu, iespējama tievās zarnas sieniņu atjaunošanās. Latvijas tirgū visbiežāk sastopamie bezglutēna graudaugu pārstrādes produkti ir milti (rīsu, kukurūzas, griķu, sojas u.c.), sausās brokastis, makaroni, galetes, maize, cepumi un konditorejas izstrādājumi. Taču Latvijas tirgū gandrīz nemaz nav mūsu valstī ražotu bezglutēna produktu, lielākā daļa no tiem ir importēti no ārzemēm. Bezglutēna produktu cenas ir salīdzinoši augstas, ir nepietiekams to klāsts un gatavo maizes izstrādājumu garšas īpašības un izskats, ko var ietekmēt izmantotās izejvielas, ne vienmēr atbilst patēriņtāju vēlmēm. Līdz ar to vietējiem ražotājiem paveras plašas iespējas izstrādāt jaunus pārtikas produktus un piedāvāt tos tirgū. Bezglutēna diētā atļauto graudaugu olbaltumvielām (griķu, rīsu, kukurūzas, amaranta u.c.) nepiemīt tādas pašas tehnoloģiskās īpašības kā kviešu glutēnam. Glutēna aizvietošana bezglutēna produktos ir sarežģīts pārtikas tehnologu uzdevums. Pieaugot pieprasījumam pēc bezglutēna produktiem, pēdējos divdesmit gadus, aktīvi tiek veikti pētījumi par bezglutēna produktu izstrādi, iespējām uzlabot to kvalitāti un paaugstināt to uzturvērtību.

Promocijas darba hipotēze: inovatīvus un drošus bezglutēna produktus var iegūt, izvēloties noteiktus graudaugus un pseidograudaugus un to kombinācijas.

Promocijas darba hipotēzi pierāda ar šādām **aizstāvamām tēzēm**:

1. Latvijas tirgū dominē labas kvalitātes bezglutēna milti un miltu pārstrādes produkti.
2. Bezglutēna miltu un maizes marķējumā norādītā uzturvērtības informācija atbilst likumdošanas prasībām.
3. Atsevišķas Latvijā audzētas un selekcionētas auzu šķirnes ir piemērotas bezglutēna diētai.
4. Bezglutēna milti ir bagāti ar bioloģiski aktīviem savienojumiem.
5. Latvijas tirdzniecības tīklos pieejamajos bezglutēna miltos glutēna saturs ir maksimāli pieļaujamās robežas.
6. Bezglutēna maizes kvalitāti uzlabo sojas, amaranta, kvinojas un zirņu milti.
7. Bezglutēna mafinu kvalitāti ietekmē gatavošanā izmantotais šķidruma veids.

Promocijas darba objekts: bezglutēna milti un to izstrādājumi.

Promocijas darba mērķis ir izpētīt Latvijā pieejamo bezglutēna graudaugu un pseidograudaugu miltu kvalitāti, un noteikt to piemērotību inovatīvu un drošu produktu ieguvei cilvēkiem ar celiakiju.

Lai sasniegtu mērķi, izvirzīti šādi **uzdevumi**:

1. noskaidrot patēriņtāju attieksmi pret Latvijas tirgū pieejamo bezglutēna miltu izstrādājumu kvalitāti;
2. izvērtēt uzturvērtības informāciju, kas norādīta bezglutēna miltu izstrādājumu marķējumā;
3. izvērtēt Latvijā audzēto auzu šķirņu un selekcijas līniju piemērotību bezglutēna diētai;
4. analizēt bezglutēna miltu kvalitāti nosakot, fizikālos un ķīmiskos rādītājus;
5. izstrādāt jaunus bezglutēna miltu pārstrādes produktus, izmantojot augstvērtīgas izejvielas.

Promocijas darba novitāte un zinātniskais nozīmīgums.

- Pirmo reizi analizēti Latvijas tirgū pieejamie bezglutēna milti, miltu maisījumi un maize, un to markējumā norādītā uzturvērtības informācija.
- Pirmo reizi pētīta Latvijā audzēto auzu šķirņu un selekcijas līniju piemērotība bezglutēna diētai.
- Veikti pētījumi par glutēna saturu Latvijā pieejamajos griķu, rīsu, kukurūzas, sojas, amaranta, kvinojas, zirņu un turku zirņu miltos.
- Rasti risinājumi bezglutēna maizes (LR patents Nr. 14224) un mafinu gatavošanai.

Promocijas darba **tautsaimnieciskā nozīme** – analizētas auzu olbaltumvielas no bezglutēna diētas aspekta un rasti risinājumi inovatīvu un drošu bezglutēna produktu ražošanai cilvēkiem ar celiakiju.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti un publicēti monogrāfijas nodaļas un apakšnodaļas, recenzējamos zinātniskos izdevumos, no kuriem divi indeksēti starptautiski citējamās datu bāzes – SCOPUS un EBSCO, kā arī saņemts viens LR patents Nr. 14224.

Monogrāfijas nodaļas un apakšnodaļas (2)

1. Ozola L., Zagorska J. (2012) Olbaltumvielu vispārīgs raksturojums. In: *Bioloģiski aktīvās vielas pārtikas produktos*. Red.: E. Straumīte, R. Galoburda, Z. Krūma, I. Ciproviča, J. Zagorska. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Pārtikas tehnoloģijas fakultāte. Jelgava: SIA Jelgavas tipogrāfija, 123.–125. lpp.
2. Ozola L. (2012) Graudaugi. In: *Bioloģiski aktīvās vielas pārtikas produktos*. Red.: E. Straumīte, R. Galoburda, Z. Krūma, I. Ciproviča, J. Zagorska. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Pārtikas tehnoloģijas fakultāte. Jelgava: SIA Jelgavas tipogrāfija, 137.–142. lpp.

Zinātniskie raksti (10)

1. Vilmane L., Zute S., Straumite E., Galoburda R. (2015) Protein, amino acid and gluten content in oat (*Avena sativa* L.) grown in Latvia. In: *Proceedings of Latvian Academy of Sciences, Section B*. (iesniegts publicēšanai / submitted for publication).
2. Vilmane L., Straumite E. (2015) Analysis of protein and dietary fiber content in gluten-free flour. In: *EPISTEME Czasopismo Naukowo - Kulturalne* (pieņemts publicēšanai / accepted for publication).
3. Vilmane L., Straumite E. (2014) Characteristic of gluten-free products: Latvian consumer survey. *International Science Index*, Vol. 8, issue 6, p. 1790–1794.
4. Vilmane L., Straumite E. (2014) The use of soy flour in yellow maize–amaranth gluten-free bread production. In: *Proceedings of the Latvia University of Agriculture*, 2013, Vol 31, issue 1, p. 1–11. [Electronic resource].
5. Ozola L., Straumite E., Galoburda R., Sabovics M. (2013) Analysis of volatile compounds in gluten-free flour. In: *Proceedings of FaBE 2013 International Conference of Food Biosystems Engineering*, Greece, Skiathos Island, p. 248–258.
6. Ozola L., Straumite E. (2012) Consumers` attitude towards availability and quality of gluten-free products in the Latvian market. In: *Proceeding of conference Research for Rural Development 2012*, Latvia, Jelgava, p. 149–154. (SCOPUS, EBSCO).
7. Ozola L., Straumite E., Galoburda R., Klava D. (2012) Application of extruded maize flour in gluten-free bread formulations. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 64, p. 883–888.
8. Ozola L., Straumite E., Galoburda R. (2012) Quality of gluten-free muffins. *Chemical Technology*, Vol 61, issue 3, p. 27–31.

9. Ozola L., Straumite E., Klava D. (2011) Extruded maize flour effect on the quality of gluten-free bread. In: *Conference Proceedings of 6th Baltic Conference on Food Science and Technology "Innovations for food science and production" – FOODBALT 2011*. Latvia, Jelgava, p. 131–136. (SCOPUS)
10. Ozola L., Straumite E., Rakcejeva T. (2010) Gluten-free flour in biscuit production. In: *Proceedings of International Conference of Food Innovation "FoodInnova 2010"*, p.1–4. [Electronic resource] – 1 CD.

LR patents (1)

1. Rakcejeva T., Straumīte E., Dripe E., Ozola L. (2011) Bezglutēna maizes gatavošanas paņēmiens, LR patents Nr.14224. *Patenti un Preču zīmes*: Latvijas Republikas Patentu Valdes Oficiālais Vēstnesis, Nr.1., 34. lpp.

Par rezultātiem ziņots 17 starptautiskās zinātniskās konferencēs un kongresos Austrijā, Francijā, Grieķijā, Latvijā, Lietuvā, Polijā, Spānijā un Vācijā, no kurām četras izstādes – starptautiskā Euroscience Open Forum (ESOF), Dublinā un starptautiskajās pārtikas izstādēs „Riga Food 2010”, „Riga Food 2011”, „Riga Food 2014”, un *Maizes ražotāju konference 2012*.

1. Vilmane L., Straumite E., Lazdiņš M. (2015) Analysis of protein and dietary fiber content in gluten-free flour. *4th International Conference for PhD Students*, 21–22 March, 2015, Krakow, Poland. (stenda referāts / poster presentation).
2. Vilmane L., Straumīte E., Lazdiņš M. (2015) Olbaltumvielu un glutēna satura miltos. *Latvijas Universitātes 73. konference, Pārtikas ķīmijas sekcija*, 2015. gada 18. februāris, Rīga, Latvija. (mutiskais referāts / oral presentation).
3. Vilmane L. (2014) Auzu nozīme uzturā, to piemērotība cilvēkiem ar hroniskām zarnu slimībām. *19. Starptautiskā izstāde „Riga Food 2014”*, 2014. gada 5–7. septembris, Rīga, Latvija. (stenda referāts / poster presentation).
4. Ozola L., Straumite E., Lazdiņš M. (2014) Determination of gluten in flour. *9th Baltic Conference on Food Science and Technology „Food for consumer well-being” FOODBALT-2014*, 8–9 May, 2014, Jelgava, Latvia. (mutiskais referāts / oral presentation).
5. Ozola L., Straumite E. (2013) Effect of soy flour on yellow maize-amaranth bread quality. *3rd International symposium on gluten-free cereal products and beverages*, 12–14 June, 2013, Vienna, Austria. (stenda referāts / poster presentation).
6. Straumite E., Ozola L. (2013) Influence of soy flour on yellow maize-amaranth dough rheological properties. *3rd International symposium on gluten-free cereal products and beverages*, 12–14 June, 2013, Vienna, Austria. (stenda referāts / poster presentation).
7. Ozola L., Straumite E., Galoburda R., Sabovics M. (2013) Analysis of volatile compounds in gluten-free flour. *International Conference on Food and Biosystem Engineering 2013, „FaBE2013”*, 30 May–2 June, 2013, Skiathos Island, Greece. (mutiskais referāts / oral presentation).

8. **Ozola L.**, Straumite E. (2012) Quality of gluten-free muffins. *Euroscience Open Forum „ESOF 2012”*, 11–15 July, 2012, Dublin, Ireland. (mutiskais referāts / oral presentation).
9. **Ozola L.** (2012) Bezglutēna milti, un to izmantošanas iespējas. *Maizes ražotāju konference 2012*, 2012. gada 1. jūnijs, Jelgava, Latvija. (mutiskais referāts / oral presentation).
10. **Ozola L.**, Straumite E. (2012) Consumers` attitude towards availability and quality of gluten-free products in the Latvian market. *Annual 18th International Scientific Conference “Research for Rural Development 2012”*, 16–18 May, 2012, Jelgava, Latvia. (mutiskais referāts / oral presentation).
11. **Ozola L.**, Straumite E., Galoburda R. (2012) Quality of gluten-free muffins. *7th Baltic Conference on Food Science and Technology, „Innovative and Healthy Food for Consumers” FOODBALT-2012*, 17–18 May, 2012, Kaunas, Lithuania. (mutiskais referāts / oral presentation).
12. **Ozola L.**, Straumite E., Galoburda R., Klava D. (2012) Application of extruded maize flour in gluten-free bread formulations. *WASET 2012: World Academy of Science, Engineering and Technology*, 25–26 April, 2012, Paris, France. (mutiskais referāts / oral presentation).
13. **Ozola L.**, Šabovics M., Skudra I., Dabiņa-Bicka I., Kozlinskis E., Kunkulberga D., Straumīte E., Kerčs G., Dimiņš F., Klava D., Kantiķe I. (2011) Jaunākie pētījumi par graudiem un to pārstrādes produktiem. *16. Starptautiskā izstāde „Riga Food 2011”*, 2011. gada 9. septembris, Rīga, Latvija. (mutiskais referāts / oral presentation).
14. **Ozola L.**, Straumite E., Klava D. (2011) Extruded maize flour effect on the quality of gluten-free bread. *6th Baltic Conference on Food Science and Technology „Innovations for food science and production” – FOODBALT 2011*, 5–6 May, 2011, Jelgava, Latvia. (stenda referāts / poster presentation).
15. **Ozola L.**, Straumite E., Klava D. (2011) Extruded corn flour effect on the microstructure and texture of gluten-free bread *C&E Spring Meeting Texture, Flavour and Taste*, 11–13 April, 2011, Freising-Weihenstephan, Germany. (stenda referāts / poster presentation).
16. **Ozola L.**, Šabovics M., Skudra I., Dabiņa-Bicka I., Gedrovica I., Ozoliņa V., Kozlinskis E., Kunkulberga D., Straumīte E., Kerčs G. (2010) Graudi un to pārstrādes produkti inovatīvu produktu izstrādē. *15. Starptautiskā izstāde „Riga Food 2010”*, 2010. gada 10. septembris, Rīga, Latvija. (mutiskais referāts / oral presentation).
17. **Ozola L.**, Straumite E., Rakcejeva T. (2010) Gluten-free flour in biscuit production. *International Conference on Food Innovation – FoodInnova 2010*, 25–29 October 2010, Valencia, Spain. (stenda referāts / poster presentation).

Piezīme: Promocijas darba autores Lailas Vilmanes pirmslaulību uzvārds ir Ozola (mainīts 2014. gadā).

MATERIĀLI UN METODES

Pētījuma laiks un vieta

Pētījumi veikti laika posmā no 2011. līdz 2015. gadam:

- Latvijas Lauksaimniecības universitātes Pārtikas tehnoloģijas fakultātes Pārtikas tehnoloģijas katedras laboratorijās (struktūra, krāsas intensitāte, mitruma saturs, olbaltumvielu saturs, kopējie fenoli un antiradikālā aktivitāte, receptūru izstrāde un aprobācija);
- Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas katedras laboratorijā (glutēna saturs);
- Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtā (cietes un šķiedrvielu saturs);
- Lietuvas Veselības zinātņu universitātē, Dzīvnieku zinātnes institūtā (aminoskābju saturs).

Pētījumā izmantotie materiāli

Pētījumā izmantoti Latvijas tirgū pieejami (griķu, rīsu, kukurūzas, sojas, amaranta, kvinojas, zirņu un turku zirņu), miltu maisījumi un maize, kas iegādāti lielveikalos, aptiekās un specializētajos veikalos. Par kontroles paraugiem izraudzīti kviešu un rudzu milti un kviešu un rudzu maize.

Bezglutēna maize un mafinu gatavošanā izmantotās papildizejvielas: rafinēta augu eļļa, sausais raugs, cukurs, zeltainais cukura sīrups, svaigas vistas olas, ābolu etiķis, sāls, sviests, cepamais pulveris, vanījas cukurs, piens, sausais piens, dzeramais ūdens, glutēna aizvietotājs.

Pētījumā analizētas Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtā 2013. gadā audzētās un ievāktās auzu šķirnes un selekcijas līnijas (1. tabula).

1. tabula / Table 1

Pētījumā iekļautie auzu paraugi / Oat samples included in the research

Šķirne vai selekcijas līnija / Variety or breeding line	Izcelsmes valsts / Country of origin	Genotips / Genotype
‘Stendes Līva’	Latvija / Latvia	plēkšņains / husked
‘Vendela’	Zviedrija / Sweden	plēkšņains / husked
‘Laima’	Latvija / Latvia	plēkšņains / husked
‘Stendes Dārta’	Latvija / Latvia	plēkšņains / husked
‘Arta’	Latvija / Latvia	plēkšņains / husked
‘Lizete’	Latvija / Latvia	plēkšņains / husked
‘Kirovec’	Krievija / Russia	plēkšņains / husked
‘Iwory’	Vācija / Germany	plēkšņains / husked
‘Stendes Emīlija’	Latvija / Latvia	kailgraudu / hull-less
33793	Latvija / Latvia	kailgraudu / hull-less
30616	Latvija / Latvia	kailgraudu / hull-less

Pētījuma struktūra

Pētījums veikts piecos posmos (1. attēls), kuros analizēts patērētāju viedoklis par bezglutēna produktiem, to kvalitāti, pirkšanas paradumiem, tirgū pieejamo bezglutēna miltu, miltu maisījumu un maizes sortimentu un uzturvērtību, raksturotas Latvijā audzēto auzu olbaltumvielas no bezglutēna diētas viedokļa, analizēti bezglutēna miltu fizikāli ķīmiskie rādītāji, kā arī izstrādāti jauni produkti un izvērtēta to kvalitāte

I posms – Patērētāju aptauja

Cilvēku ar celiakiju viedokļu un attieksmes noskaidrošanai par tirgū pieejamajiem bezglutēna produktiem, ieradumiem un motivāciju tos iegādāties, izmantota sociālo pētījumu metode – aptauja. Izveidotā aptauja ietver 16 jautājumus.

Patērētāju aptauja īstenota divas reizes laikā no 2010. gada decembra līdz 2011. gada jūlijam (PA2010) (Ozola, Straumite, 2012) un atkārtota no 2013. gada septembra līdz 2014. gada janvārim (PA2013).

II posms – Bezglutēna produktu uzturvērtības informācijas analīze

Analizēta Latvijas tirgū pieejamo bezglutēna miltu, miltu maisījumu un maizes enerģētiskā vērtība un uzturvērtība, kas norādīta produkta marķējumā. Lielveikalos, aptiekās un specializētajos veikalos iegādāti 25 bezglutēna miltu, trīs miltu maisījumu paraugi un 16 maizes paraugi.

III posms – Auzu olbaltumvielu raksturojums no bezglutēna diētas viedokļa

Pētījumā analizētas Latvijā izplatītākās plēkšņaino un kailgraudu auzu šķirnes un selekcijas līnijas (1. tabula), lai izvērtētu to piemērotību bezglutēna diētai. Auzu paraugiem noteikts olbaltumvielu, aminoskābju un glutēna saturs.

IV posms – Bezglutēna miltu analīze

Pētījuma ceturtajā posmā analizēti bezglutēna miltu fizikāli ķīmiskie rādītāji: mitrums, krāsa, šķiedrvielu, cietes, olbaltumvielu, glutēna un kopējo fenolu saturs un antiradikālā aktivitāte. Bezglutēna miltu fizikāli rādītāji salīdzināti ar kviešu un rudzu miltiem raksturīgajiem.

V posms – Jaunu produktu izstrāde un analīze

Kukurūzas–amaranta maize – izmantoti kukurūzas milti (paraugs KUM13), amaranta milti (paraugs AMM17), 45%, 50% un 60% no receptūrā paredzētā kukurūzas miltu daudzuma aizstāti ar sojas miltiem (paraugs SM16).

Kukurūzas–turku zirņu maize – izmantoti kukurūzas milti (paraugs KUM13), kvinojas milti (paraugs KNM20) un turku zirņu milti (paraugs TZM24), kā arī 10% un 15% glutēna aizvietotājs.

Bezglutēna mafini – izmantoti kukurūzas milti (paraugs KUM13), piens vai sausais piens, vai ūdens.

Legūtājiem produktiem analizēti kvalitāti raksturojošie parametri, glutēna saturs un aprēķināta uzturvērtība.

I POSMS / STAGE**PATĒRĒTĀJU APTAUJA / CONSUMERS SURVEY**

PA2010 (n=131), PA2013 (n=125)

II POSMS / STAGE**BEZGLUTĒNA PRODUKTU UZTURVĒRTĪBAS
INFORMĀCIJAS ANALĪZE / ANALYSIS OF NUTRITIONAL
INFORMATION OF GLUTEN-FREE PRODUCTS**Bezglutēna produkti / *Gluten-free products:*

- milti / *flour* (n=25);
- miltu maisījumi / *flour blends* (n=3);
- maize / *bread* (n=16).

Uzturvielu un enerģētiskās vērtības analīze no produktu markējuma /
*Analysis of nutrients and energy value as presented on the product's label***III POSMS / STAGE****AUZU OLBALTUMVIELU RAKSTUROJUMS NO BEZGLUTĒNA
DIĒTAS VIEDOKĻA / CHARACTERISATION OF OAT PROTEIN
FROM THE PERSPECTIVE OF THE GLUTEN-FREE DIET**Latvijā audzētas plēkšainās auzas (n=8) un kailgraudu auzas (n=3) /
*Husked (n=8) and hull-less(n=3) oats grown in Latvia***Analizētie parametri / Analysed parameters:**

- | | |
|--|---|
| • olbaltumvielas / <i>proteins</i> , %; | • aminoskābes / <i>amino acids</i> , g kg ⁻¹ . |
| • glutēna saturs / <i>gluten content</i> , mg kg ⁻¹ ; | |

IV POSMS / STAGE**BEZGLUTĒNA MILTU ANALĪZE / ANALYSIS OF GLUTEN-FREE FLOUR**Bezglutēna milti / *Gluten-free flour* (n=25)**Analizētie parametri / Analysed parameters:**

- | | |
|---|--|
| • mitrums / <i>moisture</i> , %; | • olbaltumvielas / <i>proteins</i> , %; |
| • krāsa / <i>colour</i> , L*a*b*; | • glutēna saturs / <i>gluten content</i> , mg kg ⁻¹ ; |
| • ciete / <i>starch</i> , %; | • KFS / <i>TPC</i> , mg GAE 100 g ⁻¹ ; |
| • šķiedrvielas / <i>fibre</i> , g 100 g ⁻¹ ; | • ArA / <i>ARA</i> , mg TE 100 g ⁻¹ . |

V POSMS / STAGE**JAUNU PRODUKTU IZSTRĀDE UN ANALĪZE /
DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF NEW PRODUCTS**Bezglutēna maize / *Gluten-free bread*Bezglutēna mafini / *Gluten-free muffins***Analizētie parametri / Analysed parameters:**

- | | |
|-----------------------------------|---|
| • mitrums / <i>moisture</i> , %; | • nocepums, nožuvums/ <i>weight loss, dry off</i> , %; |
| • krāsa / <i>colour</i> , L*a*b*; | • glutēna saturs / <i>gluten content</i> , mg kg ⁻¹ ; |
| • cietība / <i>hardness</i> , N; | • aprēķināta uzturvērtība / <i>calculated nutritional value</i> . |
| • augstums / <i>height</i> , mm; | |

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

Pētījumos izmantoto metožu raksturojums

Promocijas darbā noteiktie rādītāji un izmantotās analīžu metodes apkopotas 2. tabulā.

2. tabula / Table 2

Analīžu metožu un standartu apkopojums / Summary of the analytic methods and standards

Nr. / No	Nosakāmie rādītāji / Determined indicators	Standartmetodes un metodes / Standard methods and methods
1.	Mitrums ^a / Moisture, %	LVS EN ISO 712:2010 A
2.	Krāsa ^c / Colour	CIE L*a*b* krāsu sistēmā / CIE L*a*b* colour system
3.	Šķiedrvielu saturs ^a / Fibre content, %	LVS EN ISO 5983-1:2005
4.	Cietes saturs ^a / Starch content, %	LVS EN ISO 1052:2001
5.	Olbaltumvielu saturs ^a / Protein content, %	Kjeldāla metode / Kjeldahl method, ISO 5983-1:2005
6.	Glutēna saturs ^b / Gluten content, mg kg ⁻¹	R5 ELISA RIDASCREEN Gliadin metode / Method AOAC-RI 120601
7.	Aminoskābes ^a / Amino acids, g kg ⁻¹	WatersAccQ-Tag metode / method Cohen, Michaud, 1993
8.	Kopējo fenolu saturs ^a / Total phenolic content, mg GAE 100 g ⁻¹	Singleton <i>et al.</i> , 1999; Dabina-Bicka <i>et al.</i> , 2011
10.	Antiradikālā aktivitāte ^a / Antiradical activity, mg TE 100 g ⁻¹	Yu <i>et al.</i> , 2003; Dabina-Bicka, 2013
11.	Cietība ^c / Hardness, N	AACC Method no 74-09.01 ar struktūras analizatoru TA.TX.Plus
12.	Nocepums ^a / Weight loss, % Nožuvums ^a / Dry off, %	Rakčejeva, 2006

^a – atkārtojumu skaits (n=3) / number of repetitions (n=3);

^b – atkārtojumu skaits (n=5) / number of repetitions (n=5);

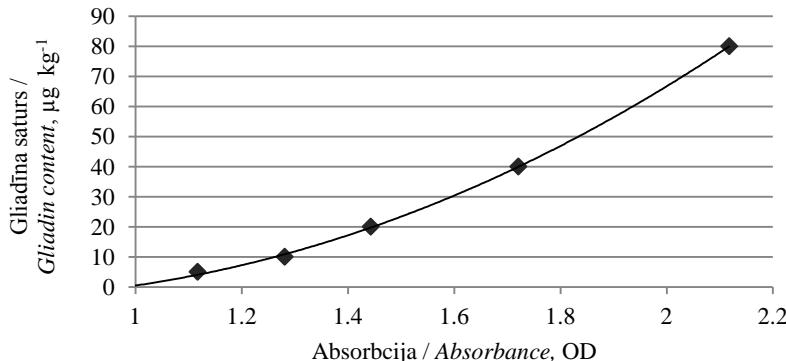
^c – atkārtojumu skaits (n=10) / number of repetitions (n=10);

Glutēna saturu noteikšana

Glutēna saturs miltos un produktos noteikts ar R5 ELISA RIDASCREEN Gliadin komplektu (R-Biopgarm AG, Vācija), tā ir akceptēta kā Codex Alimentarius metode (Tips 1) un pieņemta kā AOAC-OMA 2010.01 metode.

RIDASCREEN Gliadin ir sendviča tipa enzīmu imūnanalīze, kuru izmanto kvantitatīvai kviešu (gliadīna), rudzu (sekalīna), miežu (hordeīna) prolamīnu identificēšanai izejvielās, piemēram, miltos (griķu, rīsu, kukurūzas, auzu, u.c.), garšvielās un gatavos produktos (maizē, makaronos, dzērienos u.c.). Metodes jutība ir 1,5 mg kg⁻¹ gliadīna jeb 3 mg kg⁻¹ glutēna, bet kvantificēšanas limits 2,5 mg kg⁻¹ gliadīna jeb 5,0 mg kg⁻¹ glutēna. Glutēna noteikšanas procesu var iedalīt četros

posmos: parauga sagatavošanā, ekstrakcijā, analīzē, rezultātu nolasīšanā (2. attēls) un gliadīna (formula 1) un glutēna aprēķināšanā (formula 2).



**2. att. Gliadīna saturs standartu kalibrēšanas līkne /
Fig. 2. Gliadin standard calibration curve**

$$GL = 1.246 Abs^3 + 35.251 Abs^2 - 48.226 \quad (1)$$

$$GC = \frac{GL \times 500}{1000} \times 2 \quad (2)$$

kur: GL – gliadīna saturs / *gliadin content, µg kg⁻¹*;

Abs – absorbceja / *absorbance, OD*;

GC – glutēna saturs / *gluten content, mg kg⁻¹*;

500 vai 2000 – atšķaidījuma faktors / *dilution factor*;

1000 un 2 – pārrēķina koeficenti / *conversion coefficients*.

Datu matemātiskā apstrāde

Datu matemātiskā apstrāde veikta ar matemātiskās statistikas metodēm. Attēli un tabulas izveidotas un aprēķini veikti *MS Excel 2007* programmā, principiālā komponentu analīze (PCA) veikta, izmantojot *MultiBase2015* statistikas programmu, hierarhijas klasteru analīze veikta, izmantojot *SPSS 17.0* statistikas programmu. Visiem iegūtajiem rezultātiem aprēķināti šādi rādītāji: vidējais aritmētiskais un standartnovirze.

Rezultātu interpretācijai pieņemts, ka $p=0,05$ ar 95% ticamību. Grafikos un tabulās visas vērtības, kas atzīmētas ar vienu un to pašu burtu, nav būtiski atšķirīgas savā starpā, ja $p>0,05$. Ja nepieciešams, datu apstrādē ar divfaktoru dispersijas analīzi (ANOVA) izvērtēta divu dažādu faktoru mijiedarbības ietekme.

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

PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN DISKUSIJA

1. Patērētāju aptaujas rezultātu analīze

Lai izzinātu un izvērtētu patērētāju viedokli un attieksmi pret bezglutēna produktiem Latvijas tirgū un iepirkšanās ieradumiem, 2010. (PA2010) un 2013. (PA2013) gadā veikta patērētāju aptauja. PA2010 iegūtie dati liecina, ka 70,2% respondentu bezglutēna diētu ievēro ilgāk par vienu gadu, 7,6% no viņiem – jau no dzimšanas. Kā rāda PA2013 rezultāti, 9,3% no respondentiem bezglutēna diētu ievēro jau no dzimšanas, 73,3% – ilgāk par vienu gadu – 2–18 gadus, bet 17,4% – līdz vienam gadam. Lielākā daļa aptaujāto bezglutēna diētu ievēro trīs līdz četru gadus, tādēļ labi pārzina tirgus situāciju un produktus.

Cilvēki ar celiakiju Latvijā iegādājas galvenokārt bezglutēna miltus (20,1%), makaronus (18,9%) un saldumus (15,5%) lielveikalos, specializētajos veikalos, aptiekās un interneta veikalos. Salīdzinot aptauju rezultātus, 2013. gadā (PA2013) bezglutēna produktu iegādei mēnesī respondenti tērē vairāk līdzekļu: 24,0% respondentu tērē 93–114 EUR, savukārt 18,7% – 115–135 EUR mēnesī. PA2013 rezultāti liecina, ka patērētāji ir apmierināti ar miltu (60,0%), miltu maiņojumu (49,3%) un makaronu (49,3%) kvalitāti, ko raksturo galvenokārt kā labu, bet neapmierināti ar maizes (25,3%), konditorejas izstrādājumu (37,3%) un saldumu (46,7%) kvalitāti, ko vērtē kā viduvēju. Pēc respondentu domām, mājās gatavots ēdiens ir garšīgāks un daudzveidīgāks nekā veikalos pieejamais. Savukārt makaronus un saldumus viņi iegādājas, jo tos ir sarežģītāk un darbietilpīgāk gatavot mājās. Neliela daļa respondentu (0,3%) tirdzniecības tiklos neiegādājas neko, jo cenšas samazināt uzturā graudaugu produktus, bet palielināt svaigu dārzeņu, augļu, gaļas un zivju patēriņu. Līdz ar to tas daļēji apstiprina izvirzīto tēzi, ka Latvijas tirgū dominē labas kvalitātes bezglutēna milti un miltu pārstrādes produkti.

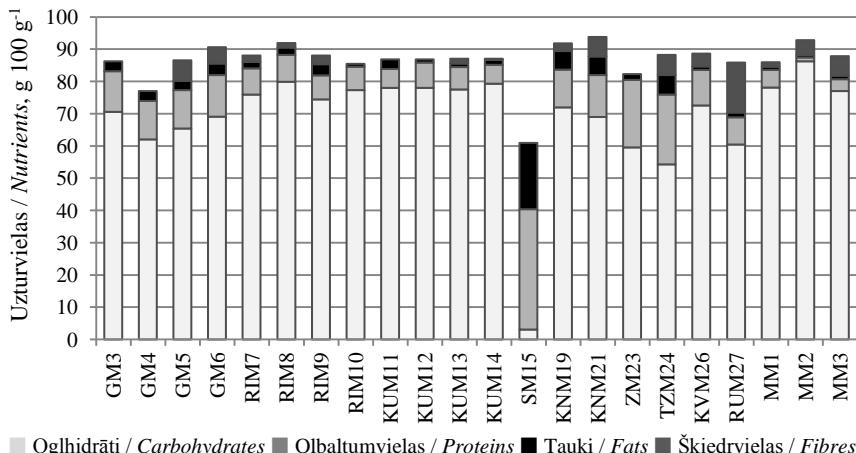
Kvalitatīvu bezglutēna produktu piedāvājuma paplašināšanās tirdzniecības vietās un sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumos, sabiedrības izglītošana par celiakiju un detalizētāks produktu markējums varētu uzlabot cilvēku ar celiakiju dzīves kvalitāti un veselību. Respondenti norādīja, ka nepieciešams paplašināt piedāvāto bezglutēna produktu klāstu un sortimentu – 28,0% vēlētos lētākus produktus, savukārt 52,0% – Latvijā ražotus produktus.

2. Bezglutēna miltu un maizes markējumā norādītās uzturvērtības informācijas izvērtējums

Bezglutēna milti un miltu maisījumi

Bezglutēna produktu ražošanā ir daudz problēmu, bet tikai nesen nedalīta uzmanība pievērsta izstrādāto produktu uzturvērtībai, jo pieaug bažas par bezglutēna diētā iekļauto produktu uzturvielu nesabalansētību. Iepriekš veiktie pētījumi (*Thompson et al.*, 2005; *Saturni et al.*, 2010; *Sequra, Rosell*, 2011) ir pierādījuši, ka bezglutēna diētai raksturīgs nesabalansēts ogļhidrātu, olbaltumvielu un tauku saturs, nepietiekams šķiedrvielu, vitamīnu un minerālvielu daudzums.

Pētījumā analizēti 25 bezglutēna miltu paraugi, bet tikai 68% gadījumu to marķējumā norādīta informācija par uzturvērtību. Uzturvērtības paziņojums nav griķu miltu paraugiem GM1 un GM2, sojas paraugam SM16, amaranta – paraugiem AMM17 un AMM18, kvinojas paraugiem KNM20 un KNM22, kā arī uz turku zirņu – paraugam TZM25. Konstatēts, ka paraugus uz kuriem nav uzturvērtības paziņojuma piedāvā dažādi ražotāji. Latvijas tirgū patlaban pieejamo miltu un miltu maisījumu marķējumā norādītā uzturvērtības informācija apkopota 3. attēlā.



■ Oglīhidrāti / Carbohydrates ■ Olbaltumvielas / Proteins ■ Tauki / Fats ■ Šķiedrvielas / Fibres

3. att. Bezglutēna miltu un miltu maisījumu marķējumā norādītā uzturvērtības informācija / Fig. 3. Nutritional information presented on gluten-free flour and flour blend label

GM – griķu milti / buckwheat flour, RIM – rīsu milti / rice flour, KUM – kukurūzas milti / maize flour, SM – sojas milti / soya flour, KNM – kvinojas milti / quinoa flour, ZM – zirņu milti / pea flour, TZM – turku zirņu milti / gram flour, KVM – kviešu milti / wheat flour, RUM – rudzu milti / rye flour, MM – miltu maisījumi / flour blends

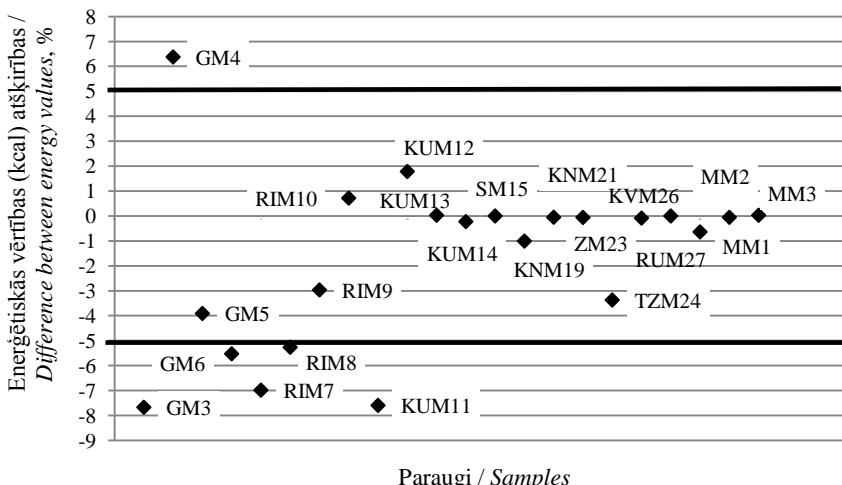
Analizētajos bezglutēna miltu paraugos olbaltumvielu satura ir robežas no 5,9 (kukurūzas miltu paraugā KUM11) līdz 37,3 g 100 g⁻¹ (sojas miltu paraugā SM15), oglīhidrātu satura – no 3,1 (sojas miltu paraugā SM15) līdz 79,9 g 100 g⁻¹ (rīsu miltu paraugā RIM8), tauki – no 0,9 (rīsu miltu paraugā RIM10) līdz 20,6 g 100 g⁻¹ (sojas miltu paraugā SM15). Augstākais olbaltumvielu un tauku un mazāks oglīhidrātu satura ir sojas miltos (SM15), kas iepriekš termiski apstrādāti, lai uzlabotu to kvalitāti un tos iespējams izmantot kā olu aizstājējus. Augsts olbaltumvielu satura ir zirņu miltos (20,9–21,6 g 100 g⁻¹), oglīhidrātu – kukurūzas miltos (77,5–78,0 g 100 g⁻¹), tauku – kvinojas miltos (2,6–6,0 g 100 g⁻¹). Savukārt bezglutēna miltu enerģētiskā vērtība ir robežas no 335 līdz 392 kcal 100 g⁻¹ jeb no 1403 līdz 1662 kJ 100 g⁻¹.

Bezglutēna miltus un miltu maisījumus pēc marķējumā norādītās uzturvērtības informācijas var iedalīt četros klasteros. Pirmais klasteris ietver griķu un kvinojas miltus ar augstu tauku un vidēju olbaltumvielu saturu, otrs – rīsu, kukurūzas miltus

un miltu maisījumus ar augstu oglhidrātu un zemu olbaltumvielu saturu. Trešo klasteri veido sojas milti ar augstu olbaltumvielu un tauku saturu, savukārt ceturto – zirņu milti ar augstu olbaltumvielu saturu. Pamatojoties uz LR Veselības ministrijas un biedrības „Dzīve bez glutēna” uztura ieteikumiem, cilvēkiem ar celiakiju piemērotākie atbilstīgi šā pētījuma rezultātiem pēc marķējumā norādītās uzturvērtības informācijas ir zirņu, sojas, grīķu un kvinojas milti.

ES regula Nr. 1169/2011 (25.10.2011.) par pārtikas produktu informācijas sniegšanu patēriņajiem paredz, ka obligātajā paziņojumā par uzturvērtību jānorāda enerģētiskā vērtība, tauku, piesātināto taukskābju, oglhidrātu, cukura, olbaltumvielu un sāls saturs, šķiedrvielu īpatsvara norādīšana ir brīvprātīga. Pētījumā secināts, ka 41% analizēto bezglutēnu miltu paraugu ražotāji izvēlējušies šķiedrvielu saturu neuzrādīt.

4. attēlā apkopota informācija par bezglutēna miltu un miltu maisījumu marķējumā norādītās un pārrēkinātās enerģētiskās vērtības (kcal) atšķirībām procentos. Par būtisku kļūdas robežu uzskata 5%, kas statistiski tiek parādīta kā pirmā nozīmīgā.



**4. att. Marķējumā norādītās un aprēķinātās enerģētiskās vērtības atšķirības, %/
Fig. 4. Difference between energy value presented on the label and recalculated, %**

GM – grīķu milti / buckwheat flour, RIM – rīsu milti / rice flour, KUM – kukurūzas milti / maize flour, SM – sojas milti / soya flour, KNM – kvinojas milti / quinoa flour, ZM – zirņu milti / pea flour, TZM – turku zirņu milti / gram flour, KVM – kviešu milti / wheat flour, RUM – rudzu milti / rye flour, MM – miltu maisījumi / flour blends

Pētījuma rezultāti parāda, ka miltu maisījumiem enerģētiskā vērtība ir norādīta precīzi, tā būtiski neatšķiras no aprēķinātās ($p>0,05$).

Cetri ražotāji tirgū piedāvā vairāk nekā vienu produktu: „Doves Farm Food” bezglutēna miltu un miltu maisījumu paraugus GM5, RIM8, MM1, „BIG OZ” – GM6, RIM9, „Natco Foods” – KUM14, TZM24 un „Dr. Schär” – MM2,

MM3. Katra uzņēmuma piedāvātajiem produktiem raksturīga vienāda tendenze marķējumā norādītajā un pārrēķinātajā enerģētiskās vērtības salīdzinājumā. „Doves Farm Food”, „BIG OZ” un „Natco Foods” pārrēķinātās vērtības ir augstākas nekā marķējumā norādītā, bet „Dr. Schär” abas vērtības sakrīt.

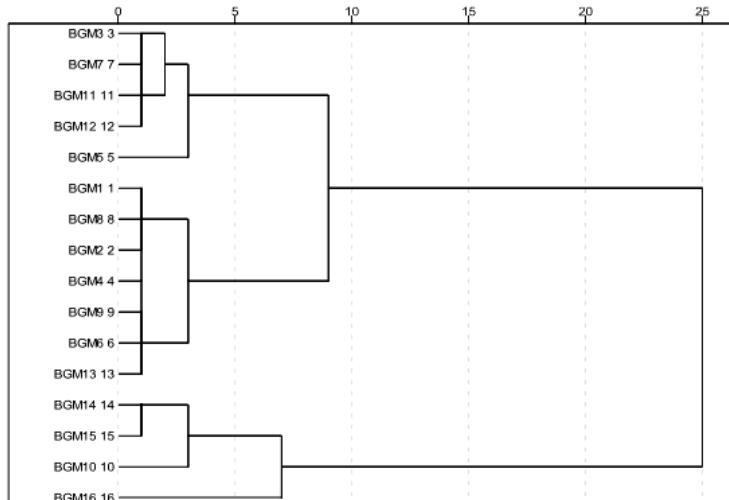
35% bezglutēna miltu paraugu enerģētiskā vērtība norādīta neprecīzi, līdz ar to var secināt, ka patēriņtāji daļēji tiek maldināti – uzturvielas uzrādītas pareizi, bet enerģētiskā vērtība – nepareizi. Būtiskās atšķirības iespējams skaidrot ar to, ka aprēķinos izmantoti neprecīzi vai kļūdaini pārrēķina koeficienti.

Bezglutēna maize

Latvijas tirgū pieejama trīs ražotāju – „Dr. Schär”, „Schnitzer” un „Bezgluten” – bezglutēna maize. Pētījumā vērtēti 16 bezglutēna maizes paraugi, kas apzīmēti ar bezglutēna simbolu – pārsvītrotu vārpdu un satur veselības un uzturvērtības norādes.

Salīdzinājumā ar bezglutēna miltu paraugiem (41,0%), tikai 18,8% bezglutēna maizes paraugu markējumā nav norādīts šķiedrvielu saturs un novērota tendenze, ka visi paraugi ir no viena ražotāja – „Bezgluten” (Polija). ES regula Nr. 1169/2011 paredz, ka obligātajā paziņojumā par uzturvērtību jānorāda ne tikai uzturvielu daudzums un enerģētiskā vērtība, bet arī sāls daudzums. 12,5% gadījumu šī prasība netiek izpildīta, lai gan sastāvā sāls ir uzrādīta. Arī šo likumdošanas normu pārkāpj maizes ražotājs „Bezgluten” (Polija). Līdz ar to var secināt, ka uzturvielu pareiza parādīšana uz iepakojuma ir atkarīga no ražotāja.

Izmantojot hierarhijas klasteru analīzi, bezglutēna maizes paraugus pēc tauku, ogljhidrātu, šķiedrvielu, olbaltumvielu un sāls saturu, kas norādīts maizes marķējumā, iespējams sagrupēt trīs klasteros (5. attēls).



Pirma klasteri veido bezglutēna maizes paraugi BGM3, BGM5, BGM7, BGM11 un BGM12, kam raksturīgs augsts šķiedrvielu ($5,3\text{--}7,9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) un zems oglhidrātu ($27,8\text{--}31,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) saturs. Trešajā klasterī ietilpst paraugi BGM10, BGM14, BGM15 un BGM16 ar lielu oglhidrātu ($47,5\text{--}59,1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) un mazu olbaltumvielu ($0,94\text{--}3,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) saturu. Savukārt otro klasteri veido bezglutēna maizes paraugi (BGM1, BGM2, BGM4, BGM6, BGM8, BGM9, BGM13), kam oglhidrātu, šķiedrvielu un olbaltumvielu saturs ir vidējs – starp pirmo un trešo klasteri.

Markējumā norādītā un pārrēķinātā enerģētiskā vērtība sakrīt $81,3\%$ gadījumu – daudz biežāk nekā bezglutēna miltiem. Līdz ar to var secināt, ka maizes ražotāji ir atbildīgāki un tik bieži nemaldina patērētājus. $12,5\%$ gadījumu pārrēķinātā enerģētiskā vērtība salīdzinājumā ar markējumā sniegtu ir mazāka. Būtiska atšķirība starp norādīto un pārrēķināto enerģētisko vērtību kilokalorijās ir tikai paraugam BGM5 ($24,2\%$), tā enerģētiskās vērtības aprēķinos pieļauta nozīmīga kļūda, kas maldina patērētājus.

3. Auzu olbaltumvielu raksturojums no bezglutēna diētas viedokļa

Pēdējos gados zinātnieku vidū arvāk parādās diskusijas par auzu piemērošbu bezglutēna diētai (Dickey, 2008; Lester, 2008; Heap, van Heel, 2009; Pulido *et al.*, 2009; Londono *et al.*, 2013). Auzas ir labs šķīstošo šķiedrvielu, neaizstājamo aminoskābju, nepiesātināto taukskābju, vitamīnu un minerālvielu avots (Jones, 2003). Auzu augstās uzturvērtības dēļ to iekļaušanai bezglutēna diētā būtu pozitīva nozīme.

Olbaltumvielu saturs auzu paraugos ir robežās no $11,05\pm0,21\%$ (plēkšņaino auzu šķirne ‘Stendes Dārta’) līdz $17,05\pm0,17\%$ (kailgraudu auzu šķirne ‘Stendes Emīlija’). Olbaltumvielu saturu Latvijā audzētās auzās būtiski ietekmē ($p<0,05$) genotips – piederība plēkšņainajām vai kailgraudu auzām. Konstatēts, ka kailgraudu auzās olbaltumvielu saturs ir par $1,2\text{--}1,6$ reizes lielāks nekā plēkšņainajās auzās. Tas nozīmē, ka produktu ražošanai, lai iegūtu augstāku olbaltumvielu saturu ieteicams izvēlēties kailgraudu auzas.

Augstākais kopējais aminoskābju saturs ir kailgraudu auzu selekcijas līnijā 30616 (paraugā A11) – $152,33 \text{ g kg}^{-1}$, bet zemākais – plēkšņaino auzu šķirnes ‘Iwory’ paraugā A8 – $92,66 \text{ g kg}^{-1}$ (3. tabula). Būtiska atšķirība ($p<0,05$) kopējā aminoskābju saturā konstatēta starp plēkšņaino auzu paraugiem, kuros aminoskābes ir robežās no $92,66 \text{ g kg}^{-1}$ paraugā A8 (šķirne ‘Iwory’) līdz $122,52 \text{ g kg}^{-1}$ paraugā A5 (šķirne ‘Arta’). Visi auzu paraugi satur vairāk aizvietojamo nekā neaizvietojamo aminoskābju, un to saturs auzās ir robežās no $32,16 \text{ g kg}^{-1}$ paraugā A5 (plēkšņaino auzu šķirne ‘Arta’) līdz $48,52 \text{ g kg}^{-1}$ paraugā A9 (kailgraudu auzu šķirne ‘Stendes Emīlija’). Aizvietojamo un neaizvietojamo aminoskābju saturu ($p<0,05$) būtiski ietekmē auzu genotips – plēkšņainās vai kailgraudu auzas. Aminoskābju sastāvu auzās pētījuši vairāki zinātnieki un noteikuši atšķirības starp aminoskābju sastāvu plēkšņainajās un kailgraudu auzās (Givens *et al.*, 2004; Baker, 2007, Biel *et al.*, 2009; Biel *et al.*, 2014). Kopējais neaizvietojamo aminoskābju sastāvs kailgraudu auzās ir par 12% lielāks nekā plēkšņainajās auzās (Biel *et al.*, 2014). To apliecinā arī autores pētījumā iegūtie rezultāti: kailgraudu auzu paraugā A11 (selekcijas līnija 30616)

neaizvietojamo aminoskābju saturs ir par 21,9% (paraugā A5) līdz 44,9% (paraugā A8) lielāks nekā plēkšņaino auzu paraugos. Givens *et al.* (2004) turklāt ziņo par būtisku atšķirību ($p < 0,001$) starp plēkšņaino un kailgraudu auzu aminoskābju sastāvu.

Auzu paraugi satur daudz aizvietojamo aminoskābju, tādas kā glutamīnskābe (24,45–47,30 g kg⁻¹), asparagīnskābe (6,45–12,20 g kg⁻¹), glicīns (5,85–11,25 g kg⁻¹), neaizvietojamās aminoskābes: leicīns (7,55–10,66 g kg⁻¹), valīns (5,05–7,52 g kg⁻¹) un izoleicīns (3,73–5,65 g kg⁻¹) (3. tabula). Iegūtie dati ir līdzīgi literatūras avotos minētajiem (Givens *et al.*, 2004; Georgieva, Zorovski, 2013; Biel *et al.*, 2014).

3. tabula / Table 3
Aminoskābju sastāvs auzās / Composition of amino acids in oats

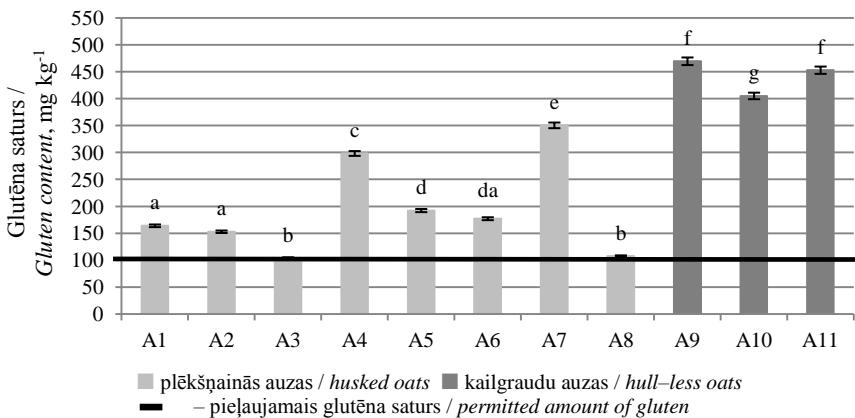
Paraugs/ Sample	Neaizvietojamās aminoskābes / Essential amino acids, g kg ⁻¹								Kopā / Total
	Thr*	Val	Met	Ile	Leu	Phe	His	Lys	
A1	2.95 ^d	5.05 ^c	3.24 ^a	4.72 ^b	8.08 ^b	4.15 ^d	2.75 ^c	3.65 ^c	34.59 ^c
A2	3.95 ^c	6.15 ^b	2.52 ^b	4.44 ^b	6.96 ^c	4.12 ^d	2.15 ^{cd}	4.92 ^b	35.21 ^c
A3	3.92 ^c	5.11 ^c	2.53 ^b	3.22 ^c	7.55 ^c	4.06 ^d	2.15 ^{cd}	3.62 ^c	32.16 ^c
A4	3.80 ^c	5.63 ^c	2.43 ^b	4.28 ^b	8.43 ^b	5.36 ^c	2.45 ^c	3.55 ^c	35.93 ^c
A5	3.71 ^c	6.83 ^b	1.95 ^c	5.25 ^a	9.35 ^b	6.05 ^b	2.08 ^{cd}	4.62 ^b	39.84 ^b
A6	4.34 ^b	6.14 ^b	1.95 ^c	4.50 ^b	9.37 ^b	5.69 ^{bc}	3.90 ^b	3.71 ^c	39.59 ^b
A7	3.35 ^c	6.04 ^b	1.84 ^c	3.73 ^c	8.23 ^b	5.65 ^{bc}	1.75 ^d	4.95 ^b	35.54 ^c
A8	3.25 ^c	5.65 ^c	3.03 ^a	3.83 ^c	7.95 ^c	3.35 ^d	3.09 ^b	4.23 ^b	34.38 ^c
A9	5.15 ^a	7.48 ^a	2.42 ^b	5.65 ^a	10.66 ^a	7.25 ^a	4.32 ^a	5.60 ^a	48.52 ^a
A10	4.84 ^b	7.22 ^a	2.77 ^b	5.15 ^a	10.31 ^a	6.37 ^b	4.58 ^a	4.81 ^b	46.04 ^a
A11	5.05 ^a	7.52 ^a	3.23 ^a	4.27 ^b	9.84 ^b	7.08 ^a	3.25 ^b	6.23 ^a	46.47 ^a
Paraugs/ Sample	Aizvietojamās aminoskābes / Non-essential amino acids, g kg ⁻¹								Kopā / Total
Asp	Ser	Glu	Pro	Gly	Ala	Tyr	Arg		
A1	9.05 ^c	5.30 ^c	30.60 ^c	4.96 ^e	7.00 ^c	5.41 ^b	3.33 ^b	6.20 ^e	71.85 ^d
A2	7.75 ^{ed}	5.00 ^c	24.45 ^e	5.45 ^d	6.05 ^{de}	5.95 ^{ab}	2.55 ^c	5.82 ^f	63.02 ^e
A3	9.75 ^c	4.60 ^d	27.35 ^d	4.40 ^e	6.80 ^{dc}	4.62 ^c	2.53 ^c	5.75 ^f	65.80 ^e
A4	8.50 ^d	5.95 ^{cd}	32.95 ^b	5.52 ^d	7.25 ^c	5.03 ^{cb}	2.93 ^{bc}	5.64 ^f	73.77 ^d
A5	10.85 ^b	6.65 ^b	33.85 ^b	6.65 ^{dc}	8.10 ^b	6.35 ^a	2.43 ^c	7.80 ^d	82.68 ^c
A6	8.90 ^d	5.64 ^c	25.46 ^e	7.75 ^c	6.03 ^{de}	5.68 ^b	3.51 ^b	9.99 ^c	72.94 ^d
A7	8.30 ^d	4.80 ^d	31.15 ^c	5.92 ^d	6.40 ^d	5.04 ^{cb}	2.05 ^c	5.95 ^f	69.61 ^d
A8	6.45 ^e	4.70 ^d	24.60 ^e	4.65 ^d	5.85 ^e	3.63 ^d	3.65 ^b	4.75 ^e	58.28 ^e
A9	10.97 ^b	6.80 ^b	31.55 ^c	8.38 ^b	6.99 ^{dc}	6.74 ^a	4.97 ^a	11.94 ^a	88.34 ^b
A10	11.14 ^b	6.40 ^b	31.01 ^c	9.31 ^a	6.77 ^{dc}	6.50 ^a	4.42 ^a	10.85 ^b	86.40 ^b
A11	12.20 ^a	7.85 ^a	47.30 ^a	7.43 ^c	11.25 ^a	6.65 ^a	3.85 ^{ab}	9.33 ^c	105.86 ^a

*Thr – treonīns / threonine, Val – valīns / valine, Met – metionīns / methionine, Ile – izoleicīns / isoleucine, Leu – leicīns / leucine, Phe – fenilalanīns / phenylalanine, His – histidīns / histidine, Lys – lizīns / lysine, Asp – asparagīnskābe / aspartic acid, Ser – serīns / serine, Glu – glutamīnskābe / glutamic acid, Pro – prolīns / proline, Gly – glicīns / glycine, Ala – alanīns / alanine, Tyr – tirozīns / tyrosine, Arg – arginīns / arginine

Kviešu prolamīnu raksturo augsts glutamīna / glutamīnskābes (šīs aminoskābes ir cieši saistītas ķīmiskajā nozīmē, tāpēc dažkārt tās nav iespējams izdalīt atsevišķi) un prolīna saturs un mazs leicīna un alanīna saturs. Aminoskābju sekvences ar augstu

prolīna un glutamīna / glutamīnskābes (Glx) saturu izraisa celiakiju. Šādas aminoskābju sekences ir kviešu gliadīnā, rudzu sekalīnā, miežu hordeīnā un daudz mazākā daudzumā auzu avenīnā (*Sollid*, 2000; *Guilbert et al.*, 2002; *Ramakrishan et al.*, 2004; *Wieser*, 2004). Aminoskābju sastāvam ir būtiska nozīme graudauga piemērotībā bezglutēna diētai. Prolīna (Pro) saturs analizētajos Latvijā audzēto auzu paraugos ir robežas no 4,40 (plēkšņaino auzu šķirnes ‘Laima’ – A3) līdz 9,31 g kg⁻¹ (kailgraudu auzu selekcijas līnijas 30616 – A11), un tas ir apmēram divas reizes mazāks nekā *Guilbert et al.* (2002) noteiktais prolīna saturs kviešu gliadīnā – 14–17 g kg⁻¹. Savukārt saskaņā ar *Wieser* (2004) secinājumiem kviešu gliadīns satur 37 g kg⁻¹ glutamīna / glutamīnskābes, 17 g kg⁻¹ prolīna, 7 g kg⁻¹ leicīna un 3 g kg⁻¹ alanīna. Analizētajos Latvijā audzēto auzu paraugos ir augstāks leicīna (7,55–10,66 g kg⁻¹) un alanīna (3,63–6,74 g kg⁻¹) saturs salīdzinājumā ar kviešu gliadīnu. Kailgraudu auzu šķirnes un selekcijas līnijas satur vairāk alanīna un leicīna nekā plēkšņaino auzu šķirnes.

Glutēna saturs auzās ir robežas no $103,83 \pm 0,56$ mg kg⁻¹ (plēkšņainās auzu šķirnes ‘Laima’ paraugā A3) līdz $469,37 \pm 2,76$ mg kg⁻¹ (kailgraudu auzu šķirnes ‘Stendes Emīlija’ paraugā A9) (6. attēls). Kailgraudu auzu šķirnes satur 2,5–4,5 reizes augstāku glutēna saturu salīdzinājumā ar plēkšņaino auzu šķirnēm. Līdz ar to var secināt, ka glutēna saturu auzās būtiski ($p < 0,05$) ietekmē genotips (plēkšņainās vai kailgraudu) un šķirne.



**6. att. Glutēna saturs Latvijā audzētās auzās /
Fig. 6. Gluten content of oat grown in Latvia**

A1 – ‘Stendes Līva’, A2 – ‘Vendela’, A3 – ‘Laima’, A4 – ‘Stendes Dārta’, A5 – ‘Arta’, A6 – ‘Lizete’, A7 – ‘Kirovec’, A8 – ‘Iwory’, A9 – ‘Stendes Emīlija’, A10 – 33793, A11 – 30616

81,8% analizēto auzu paraugu glutēna saturs būtiski ($p < 0,05$) pārsniedz atļauto glutēna normu 100 mg kg⁻¹, līdz ar to šie auzu paraugi nav piemēroti bezglutēna diētai. *Hernando et al.* (2008) pētījumā analizēts glutēna saturs 109 dažādos auzu pārstrādes produktos (auzu pārslās, auzu miltos, auzu klijās, auzu brokastu pārslās u.c.), un iegūtie rezultāti parāda, ka 25% auzu paraugu glutēna saturs ir

$<3\text{ mg kg}^{-1}$, 4% – no 3 līdz 20 mg kg^{-1} , 12% – no 20 līdz 200 mg kg^{-1} un 59% – $>200\text{ mg kg}^{-1}$. Minētā pētījuma rezultāti pierāda, ka tikai nelielu daļu no auzu pārstrādes produktiem var iekļaut bezglutēna diētā (*Hernando et al.*, 2008).

Auzu paraugos ar augstāku glutēna saturu konstatēts augstāks prolinā ($4,96\text{--}9,31\text{ g kg}^{-1}$) un glutamīnskābes ($24,45\text{--}47,30\text{ g kg}^{-1}$) saturs salīdzinājumā ar pārējiem 18,2% auzu paraugu (Pro $4,40\text{--}4,65\text{ g kg}^{-1}$, Glu $24,60\text{--}27,35\text{ g kg}^{-1}$) (3. tabula), kuros glutēna saturs būtiski neatšķiras ($p>0,05$) no pieļaujamās normas. Plēkšņaino auzu šķirnēs ‘Laima’ un ‘Iwory’ glutēna saturs ir attiecīgi $103,83\pm0,56\text{ mg kg}^{-1}$ un $107,36\pm0,61\text{ mg kg}^{-1}$. Autores pētījuma rezultāti liecina, ka Latvijā audzētās plēkšņaino auzu šķirnes ‘Laima’ un ‘Iwory’ satur glutēnu tuvu maksimālajai atļautajai normai (100 mg kg^{-1}). Līdz ar to cilvēki ar glutēna nepanesību, nēmot vērā celiakijas pakāpi, savā ēdienu kartē var iekļaut produktus, kas gatavoti no plēkšņaino auzu šķirnēm ‘Laima’ un ‘Iwory’. Savukārt selekcionāriem, perspektīvā strādājot ar šīm šķirnēm, iespējams tās pielāgot cilvēkiem ar celiakiju. Tas sniedz iespēju cilvēkiem, kam ikdienā nepieciešami produkti ar zemu glutēna saturu, kā arī ražotājiem izmantot Latvijā izaudzētus graudus. Tā kā nevienā no analizētajiem auzu paraugiem glutēna saturs nebija mazāks par 100 mg kg^{-1} , tad tās netika izmantotas turpmākajiem pētījumiem jaunu produktu izstrādē.

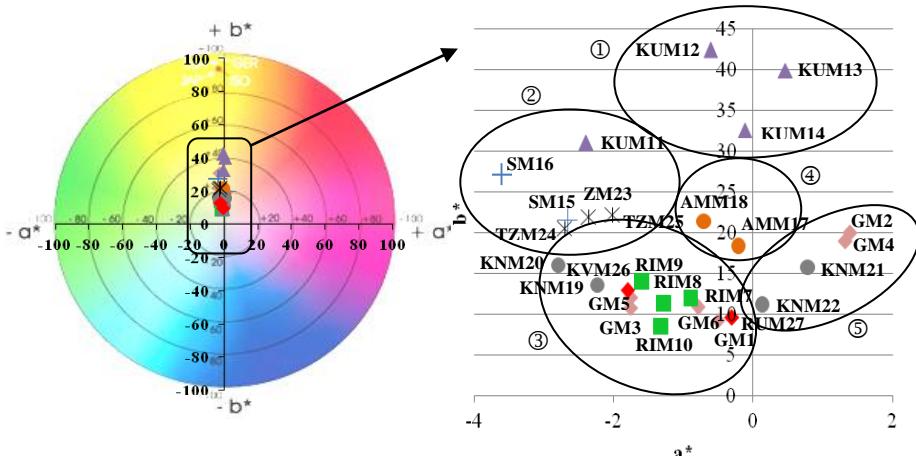
4. Bezglutēna miltu analīze

Patērētāju aptaujā respondenti izteica viedokli, ka nepieciešams papildināt un dažādot bezglutēna miltu izstrādājumu klāstu, jo tirgū pieejamie ir vienveidīgi un nav pietiekams to klāsts. Veikalos nopērkamo bezglutēna miltu izstrādājumu sastāvā ietilpst vienas un tās pašas vai līdzīgas izejvielas. Labas kvalitātes izstrādājumus var pagatavot tikai no labām izejvielām, tāpēc tās nepieciešams iepriekš izvērtēt.

Bezglutēna miltu mitrums ir svarīgs kvalitāti raksturojošs rādītājs, kas tieši saistīts ar miltu uzglabāšanas laikā notiekošajiem procesiem. Analizētajos bezglutēna miltos mitrums svārstās no $7,23\pm0,03\%$ sojas miltu paraugā SM6 līdz $13,45\pm0,08\%$ griķu miltu paraugā GM6. Būtiska mitruma atšķirība vērojama starp sojas miltiem un citiem miltu paraugiem. Zems mitruma saturs konstatēts sojas miltu ($7,23\pm0,03\%$ un $9,72\pm0,04\%$) un turku zirņu miltu ($10,09\pm0,01\%$ un $10,63\pm0,12\%$) paraugiem. Pētījumā iegūtie rezultāti sakrīt ar citu zinātnieku atzinām, ka pākšaugu mitruma saturs ir robežās no 7,9% līdz 10,8% (*Guo et al.*, 2010). Starp analizēto rīsu miltu paraugu mitruma saturu nepastāv būtiskas atšķirības ($p>0,05$), un tas ir robežās no $12,56\pm0,05\%$ līdz $12,83\pm0,07\%$. Šie rezultāti ir lielāki nekā citu zinātnieku veiktajos pētījumos iegūtie – 9,09–10,5% (*Ibianoglu et al.*, 2006; *Torbica et al.*, 2010). Starp pārējiem analizētajiem bezglutēna miltu veidiem pastāv būtiska atšķirība ($p<0,05$) mitruma saturā viena graudaugu veida robežās. Mitruma atšķirības iespējams izskaidrot ar to, ka paraugi iegādāti dažādās tirdzniecības vietās un tiem ir bijuši atšķirīgi uzglabāšanas apstākļi.

Izvēloties pārtikas produktu, patērētāji vispirms novērtē tā **krāsu**, kas ir viena no svarīgākajām īpašībām un ko bieži saista ar kvalitāti. Produktu krāsa ir atkarīga no izejvielu krāsas un dažādām reakcijām (*Fernandez-Vazquez et al.*, 2013).

Graudauga veids un miltu paraugs būtiski ietekmē ($p<0,05$) L^* , a^* un b^* komponenšu vērtību. Bezglutēna miltu krāsu komponentes L^* vērtība, kas raksturo paraugu gaišas un tumšas krāsas nianses, ir no $67,87\pm0,88$ (paraugs SM15) līdz $94,58\pm0,43$ (paraugs RIM10). Nepastāv būtiskas atšķirības ($p>0,05$) krāsu komponentes L^* vērtībā starp analizētajiem diviem amaranta paraugiem ($80,79\pm0,48$ un $80,11\pm0,32$) un trijiem zirņu miltu paraugiem ($89,94\pm0,46$ – $91,63\pm0,40$). Divdimensiju attēls raksturo krāsu izkliedi un rada priekšstatu par produkta krāsu. 7. attēlā redzams bezglutēna miltu krāsu komponenšu a^* un b^* vērtību atspoguļojums divdimensiju koordinātu sistēmā.



7. att. Bezglutēna miltu krāsas komponenšu a^* un b^* divdimensiju koordinātu sistēma / Fig. 7. Two-dimensional model of gluten-free flour colour components a^* and b^*

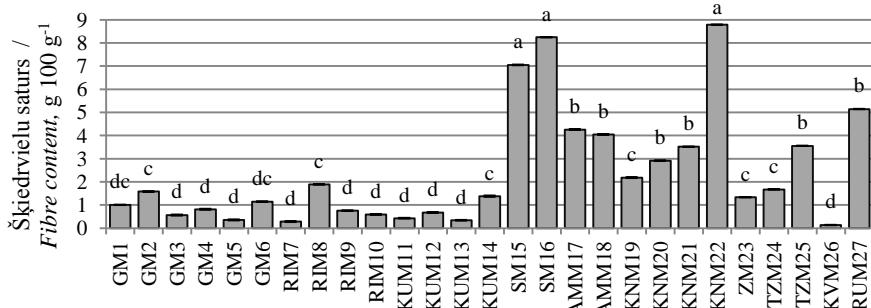
◆ – GM – griķu milti / buckwheat flour, ■ – RIM – rīsu milti / rice flour, ▲ – KUM – kukurūzas milti / maize flour, + – SM – sojas milti / soya flour, ● – AMM – amaranta milti / amaranth flour, ● – KNM – kvinojas milti / quinoa flour, * – ZM – zirņu milti / pea flour, * – TZM – turku zirņu milti / gram flour, ♦ – KVM – kviešu milti / wheat flour, ♦ – RUM – rūdzu milti / rye flour

Pamatojoties uz paraugu izkliedi koordinātu sistēmā, analizētajiem bezglutēna miltiem raksturīgas piecas krāsas, ko apstiprina arī veiktā hierarhijas klasteru analīze:

1. izteikti dzeltena (kukurūzas miltu paraugiem KUM12, KUM13 un KUM14);
2. gaiši dzeltena (kukurūzas miltu paraugam KUM11, visiem sojas, zirņu un turku zirņu miltu paraugiem);
3. balta ar pelēcīgu nokrāsu (visiem rīsu un kvinojas miltu paraugiem, kā arī griķu miltu paraugiem GM2, GM5 un GM6);
4. krēmkrāsa (visiem amaranta miltu paraugiem);
5. gaiši brūna (kvinojas miltu paraugiem KNM21 un KNM22 un griķu miltu paraugiem GM2 un GM4).

Bioloģiski aktīvie savienojumi

Šķiedrvielu satus ir būtiski atšķirīgs ($p<0,05$) analizētajos bezglutēna miltu paraugos (8. attēls). Vismazākais šķiedrvielu satus konstatēts kviešu (405. tipa), griķu, rīsu un kukurūzas miltu paraugos – no $0,14\pm0,01$ g 100 g^{-1} (KVM26), $0,34\pm0,01$ g 100 g^{-1} (KUM13) līdz $1,89\pm0,01$ g 100 g^{-1} (RIM8).



8. att. Šķiedrvielu satus bezglutēna miltos / Fig. 8. Fibre content in gluten-free flour

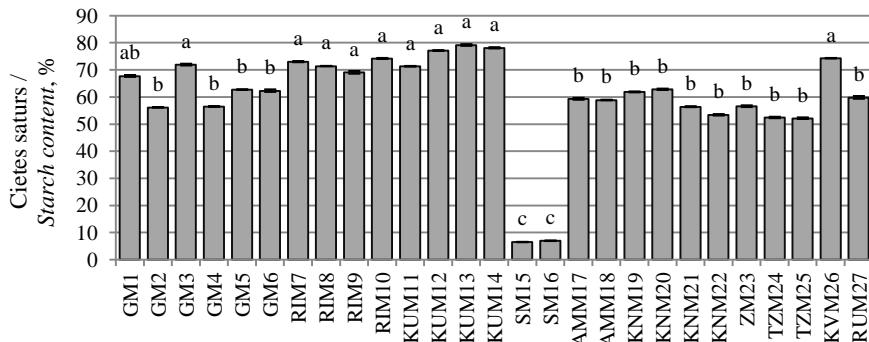
GM – griķu milti / buckwheat flour, RIM – rīsu milti / rice flour, KUM – kukurūzas milti / maize flour, SM – sojas milti / soya flour, AMM – amaranta milti / amaranth flour, KNM – kvinojas milti / quinoa flour, ZM – zirņu milti / pea flour, TZM – turku zirņu milti / gram flour, KVM – kviešu milti / wheat flour, RUM – rudzu milti / rye flour

Saskaņā ar EK regulu Nr. 1924/2006 par uzturvērtības un veselīguma norādēm uz pārtikas produktiem par šķiedrvielu avotu (vismaz 3 g šķiedrvielu 100 g produkta) var uzskatīt amaranta miltus ($4,26$ un $4,05$ g 100 g^{-1}), turku zirņu miltus ($3,56$ g 100 g^{-1}), kvinojas miltu paraugu KNM21 ($3,52$ g 100 g^{-1}) un rudzu miltus ($5,15$ g 100 g^{-1}). Daudz šķiedrvielu (vismaz 6 g šķiedrvielu 100 g produkta) ir sojas miltos ($7,04$ un $8,25$ g 100 g^{-1}) un kvinojas miltu paraugā KNM22 ($8,79\pm0,01$ g 100 g^{-1}). Lai iegūtu jaunus bezglutēna produktus, kuros būtu pietiekams šķiedrvielu satus, ieteicami pseudograudaugi, tādi kā amarants un kvinoja, un pākšaugi: soja un zirnī.

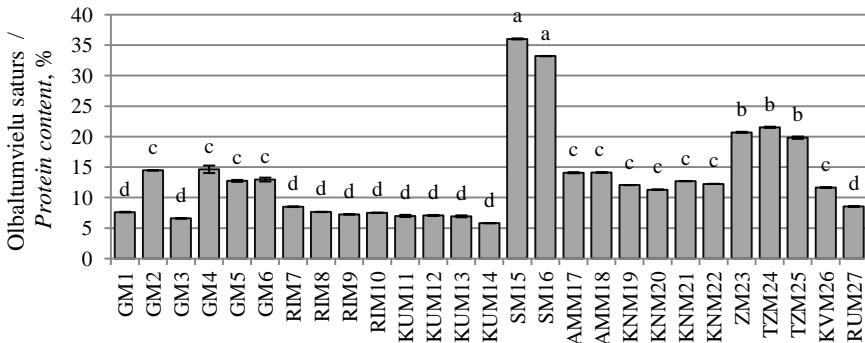
Bezglutēna miltu izstrādājumu kvalitāti un struktūru nosaka tajos esošā ciete, jo to olbaltumvielām nepiemīt tādas cepamīpašības kā kviešu miltiem. **Cientes saturu** miltu paraugos būtiski ($p<0,05$) ietekmē graudauga veids (9. attēls). Mazākais cientes satus konstatēts sojas miltos ($6,46\pm0,08\%$ paraugā SM15), bet augstākais – kukurūzas miltos ($79,12\pm0,32\%$ paraugā KUM13). Augsts cientes satus salīdzinājumā ar citiem analizētajiem paraugiem ir rīsu (no $69,03\pm0,51$ līdz $74,14\pm0,20\%$) un kukurūzas (no $71,27\pm0,13$ līdz $79,12\pm0,32\%$) miltos, un tas būtiski neatšķiras ($p>0,05$) no cientes satura kviešu miltos ($74,24\pm0,10\%$). Autores pētījumā iegūtie rezultāti sakrīt ar literatūras avotos minētajiem datiem – cientes satus rīsos ir $75,4\text{--}90,0\%$, kukurūzas miltos – $70,0\text{--}75,0\%$ un kviešu miltos – $66,9\text{--}75,4\%$ (Arendt, Zannini, 2013). Sojas miltos cientes satus ir 10 reizes mazāks nekā citos pētītajos miltu paraugos, un tas sakrīt ar Banaszkiewicz (2011) pētījumā konstatēto cientes

saturu sojā – 4,66–7,00%. Pēc cietes saturu analizētajos paraugos, tie visi ir piemēroti jaunu produktu izstrādei piemēroti visi analizētie paraugi.

Olbaltumvielu satus analizējamajos miltu paraugos ir plašā diapazonā, un to būtiski ietekmē ($p<0,05$) graudauga veids (10. attēls). Augstākais olbaltumvielu satus konstatēts sojas miltu paraugos – $36,01\pm0,09\%$ (SM15) un $33,19\pm0,03\%$ (SM16), bet zemākais – kukurūzas un rīsu miltos – $5,81\pm0,01\%$ (KUM14) līdz $8,51\pm0,01\%$ (RIM7). Saskaņā ar EK regulu Nr. 1924/2006 par uzturvērtības un veselīguma norādēm uz pārtikas produktiem par olbaltumvielu avotiem (vismaz 12 g olbaltumvielu 100 g produkta) var uzskatīt pākšaugu un pseidograudaugu miltus. Salīdzinot ar olbaltumvielu saturu kviešu miltos ir par 65% augstāks sojas, par 17% – amaranta, par 3,5% – kvinojas un par 43% – zirņu miltos, tas skaidrojams ar graudauga bioloģiskajām un botāniskajām atšķirībām.



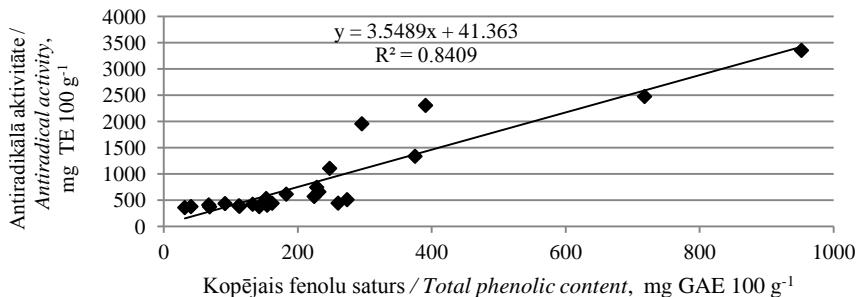
9. att. Cetes saturs bezglutēna miltos / Fig. 9. Starch content in gluten-free flour



10. att. Olbaltumvielu satus bezglutēna miltos /
Fig. 10. Protein content of gluten-free flour

GM – griķu milti / buckwheat flour, RIM – rīsu milti / rice flour, KUM – kukurūzas milti / maize flour, SM – sojas milti / soya flour, AMM – amaranta milti / amaranth flour, KNM – kvinojas milti / quinoa flour, ZM – zirņu milti / pea flour, TZM – turku zirņu milti / gram flour, KVM – kviešu milti / wheat flour, RUM – rudzu milti / rye flour

Bezglutēna miltos **kopējais fenolu satsurs (KFS)** svārstās no 31,22 mg GAE 100 g⁻¹ rīsu miltu paraugā RIM10 līdz 952,06 mg GAE 100 g⁻¹ griķu miltu paraugā GM5, un to būtiski ($p<0,05$) ietekmē miltu veids. *Vollmannova et al.* (2013) pētījumā par šķirnes ietekmi uz kopējo fenolu un rutīna saturu un antioksidatīvo aktivitāti atklāts, ka starp griķu, amaranta un kvinojas dažādām šķirnēm pastāv būtiska kopējā fenola satura un antiradikālās aktivitātes atšķirība. Tas apstiprina autores pētījumā iegūtos rezultātus, ka dažādu miltu veidu kopējais fenolu satus un antiradikālā aktivitāte atšķiras. Salīdzinot bezglutēna miltu kopējo fenolu saturu un **antiradikālo aktivitāti (ArA)**, konstatēts, ka starp tiem pastāv cieša pozitīva korelācija ($r=0,92$) – jo lielāks kopējais fenolu satus, jo augstāka antiradikālā aktivitāte (11. attēls). Šie rezultāti liecina, ka miltu kopējais fenolu satus ir tieši saistīts ar miltu antiradikālo aktivitāti un nodrošina to.

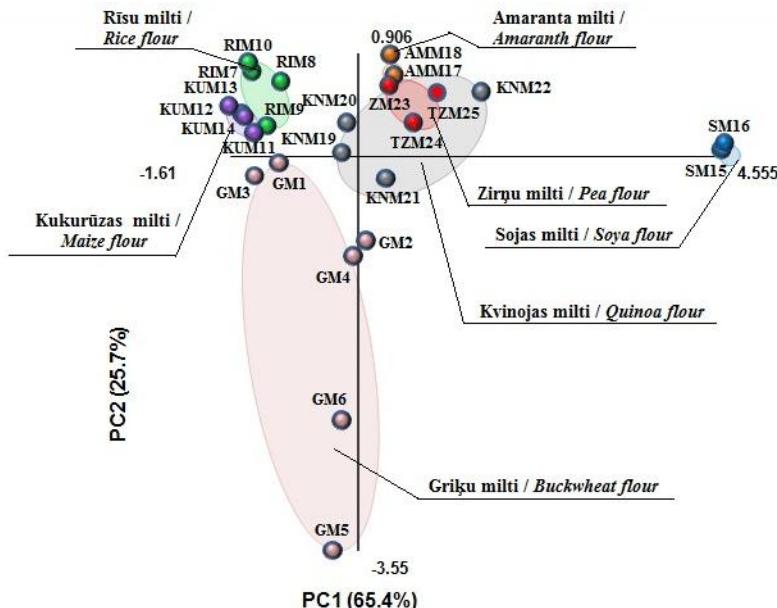


11. att. Korelācija starp KFS un ArA bezglutēna miltos / Fig. 11. Correlation of TPC and ARA of gluten-free flour

Lai raksturotu sakarību starp šķiedrvielu, cietes, olbaltumvielu un kopējo fenolu saturu bezglutēna miltu paraugos, veikta principiālo komponentu analīze (12. attēls). Izvērtējot principiālo komponentu analīzes datus, var secināt, ka abi faktori izskaidro 65,4% (PC1) un 25,7% (PC2) varianšu no datu kopas. Paraugiem, kas atrodas blakus piemīt līdzīgas īpašības. PC1 varianšu modelis parāda šķiedrvielu un kopējo fenolu saturu sakarību, bet PC2 attēlo cietes un olbaltumvielu saturu saistību. Analizējot iegūtos datus, var secināt, ka starp šķiedrvielu, olbaltumvielu, cietes un kopējo fenolu saturu miltos savstarpēja saistība nepastāv, rādītāji cits citu neietekmē.

Principiālo komponentu analīze miltu paraugus sagrupējusi tā, lai blakus atrastos paraugi ar vislīdzīgākajām īpašībām. Pirmās komponentes (PC1) labajā jeb pozitīvajā pusē ir paraugi ar augstu olbaltumvielu (no 12,71% kvinojas miltu paraugā KNM21 līdz 21,52% turku zirņu miltu paraugā TZM25) un vidēju cietes (no 52,12% turku zirņu miltu paraugā TZM25 līdz 59,29% amaranta miltu paraugā AMM17) saturu. Savukārt kreisajā jeb negatīvajā PC1 pusē atrodas paraugi ar augstu cietes (no 61,82% kvinojas miltu paraugā KNM19 līdz 79,12% kukurūzas miltu paraugā KUM13) un zemu olbaltumvielu (no 5,81% kukurūzas miltu paraugā KUM14 līdz 12,05% kvinojas miltu paraugā KNM19) saturu. Otrās komponentes (PC2) pozitīvajā pusē ir paraugi ar vidēju vai zemu šķiedrvielu saturu un zemu kopējo fenolu saturu,

savukārt negatīvajā PC2 pusē ir paraugi ar zemu šķiedrvielu un augstu kopējo fenolu saturu.



12. att. Bioloģiski aktīvo savienojumu sadalījums bezglutēna miltos / Fig. 12. Distribution of biologically active compounds in gluten-free flour

GM – griķu milti / buckwheat flour, RIM – rīsu milti / rice flour, KUM – kukurūzas milti / maize flour, SM – sojas milti / soya flour, AMM – amaranta milti / amaranth flour, KNM – kvinojas milti / quinoa flour, ZM – zirņu milti / pea flour, TZM – turku zirņu milti / gram flour

Analizēto paraugu vidū īpaši izceļas sojas milti, kurus raksturojošie parametri būtiski ($p<0,05$) atšķiras no citiem bezglutēna miltu paraugiem. Jaunu produktu izstrādei piemēroti ir pseidograudaugi (amarants, kvinoja un griķi) un pākšaugi (soja un turku zirņi), kam ir augsts šķiedrvielu, fenolu un olbaltumvielu saturs, un vidējs cietes saturs.

Glutēna saturs miltos nosaka to piemērotību bezglutēna diētai. Šā pētījuma mērķis bija pārliecināties, vai cilvēks, kuram konstatēta celiakija, iegādājoties veikalā miltus, kas tiek uzskatīti par bezglutēna (rīsi, griķi, kukurūza u.c.), var būt drošs, ka miltos glutēna saturs ir minimālajā jeb atļautajā daudzumā. Atbilstoši EK regulai Nr. 41/2009 par tādu produktu sastāvu un markēšanu, kas piemēroti cilvēkiem, kuri nepanes lipekļi, tiek uzskatīts, ka produkts nesatur glutēnu, ja glutēna saturs ir līdz 20 mg kg^{-1} . Ja kopējais glutēna saturs produktā nepārsniedz 100 mg kg^{-1} , tiek atzīts, ka produktam ir ļoti zems glutēna saturs.

Latvijas tirgū pieejamos bezglutēna miltus pēc glutēna satura var iedalīt trijās grupās (4. tabula):

1. grupa – milti, kas tiek uzskatīti par bezglutēna, bet netiek šādi marķēti bezglutēna (rīsi, griķi, kukurūza);

- grupa – milti, kam uz markējuma norādīta informācija, ka produkts nesatur glutēnu, taču netiek lietots atbilstošs markējums (pārsvītrota vārpa) un sertificēšanas numurs;
- grupa – milti, kas markēti atbilstoši (pārsvītrota vārpa un sertificēšanas numurs).

4. tabula / Table 4

**Glutēna saturs analizētajos bezglutēna miltos /
Gluten content of analysed gluten-free flour**

1. grupa / group 1	2. grupa / group 2	3. grupa / group 3			
Paraugs / Sample	Glutēna saturs / Gluten content, mg kg ⁻¹	Paraugs / Sample	Glutēna saturs / Gluten content, mg kg ⁻¹	Paraugs / Sample	Glutēna saturs / Gluten content, mg kg ⁻¹
GM1	144.40±0.04 ⊗	GM3	42.40±0.03 ⊙	GM6	24.64±0.02 ○
GM2	214.49±0.02 ⊗	RIM7	17.25±0.02 ●	RIM8	15.22±0.05 ●
GM4	53.57±0.06 ⊖	AMM17	34.24±0.03 ⊙	RIM9	24.18±0.02 ○
GM5	69.18±0.04 ⊖	AMM18	24.62±0.13 ○	RIM10	23.34±0.17 ○
KUM11	67.19±0.09 ⊖	KNM20	21.24±0.18 ○	KUM13	18.86±0.02 ●
KUM12	32.38±0.04 ⊙	TZM24	35.31±0.03 ⊙	KNM19	14.95±0.08 ●
KUM14	79.52±0.07 ⊖	×	×	×	×
SM15	36.18±0.01 ⊙	×	×	×	×
SM16	30.02±0.04 ○	×	×	×	×
KNM21	54.83±0.06 ⊖	×	×	×	×
KNM22	79.16±0.06 ⊖	×	×	×	×
ZM23	254.51±0.16 ⊗	×	×	×	×
TZM25	217.72±0.13 ⊗	×	×	×	×

● glutēna saturs / gluten content, < 20 mg kg⁻¹; ○ glutēna saturs / gluten content, 21–30 mg kg⁻¹;
 ⊖ glutēna saturs / gluten content, 31–50 mg kg⁻¹; ⊙ glutēna saturs / gluten content, 51–100 mg kg⁻¹;
 ⊗ glutēna saturs / gluten content, >101 mg kg⁻¹

Glutēna saturs pētītajos bezglutēna miltu paraugos ir robežas no 14,95±0,08 mg kg⁻¹ (kvinojas miltu paraugā KNM19) līdz 254,51±0,16 mg kg⁻¹ (zirņu miltu paraugā ZM23). Pētījuma rezultāti liecina, ka cilvēks ar celiakiju, iegādājoties miltus no pirmās grupas (n=14), kas pēc būtības pieder bezglutēna miltiem, bet nav attiecīgu markēti, nevar būt pilnīgi drošs, ka glutēna saturs ir normatīvajā regulējumā paredzētajās robežās. Pirmajā grupā 28,5% miltu paraugu glutēna saturs pārsniedz atļauto robežu 100 mg kg⁻¹, tādēļ tos nevar uzskatīt par bezglutēna un tie var būt bīstami cilvēkiem ar celiakiju. Paaugstināto glutēna saturu miltos varētu skaidrot ar to, ka malšanas procesā tie kontaminējušies ar iepriekšējiem produktiem, piemēram, kviešiem, rudziem, tritikāli. Grīķu miltu paraugi GM4 un GM5 ietilpst pirmajā grupā, un glutēna saturs tajos ir 53,57 mg kg⁻¹ un 69,18 mg kg⁻¹, proti, ļoti zems. Savukārt paraugos GM1 un GM2 glutēna saturs attiecīgi ir 144,40 mg kg⁻¹ un 214,49 mg kg⁻¹, kas pārsniedz atļauto robežu. Izvēloties

miltus no pirmās grupas, jāņem vērā ražotājs un jārēķinās ar iespējamo risku, kas jāizvērtē katram celiakijas pacientam individuāli atkarībā no slimības pakāpes. 42,8% pirmās miltu grupas paraugu glutēna saturs ir robežās no 51 līdz 100 mg kg⁻¹, respektīvi, loti zems.

Otrās miltu grupas paraugos glutēna saturs ir no 17,25 mg kg⁻¹ (rīsu miltu paraugā RIM7) līdz 42,40 mg kg⁻¹ (griķu miltu paraugā GM3), tātad atļautajās robežās, tāpēc tos cilvēki ar celiakiju var lietot uzturā. Pētījumā iegūtie rezultāti apliecina, ka ražotāji ir atbildīgi un, ja markējumā norādīts, ka produkti ir bezglutēna, patērētājs var šīm norādēm ticēt.

Trešās grupas (produkti apzīmēti ar attiecīgo simbolu) paraugiem glutēna saturs ir no 14,95±0,08 mg kg⁻¹ (KNM19) līdz 24,64±0,02 mg kg⁻¹ (RIM9). Tas nozīmē, ka šos miltus rāžo atsevišķās ražotnēs, kurās tiek nodrošināts, ka produkti netiks kontaminēti ar glutēnu un būs piemēroti cilvēkiem ar celiakiju. Pirmās grupas miltu paraugos konstatētais glutēna saturs, ļauj secināt, ka patērētājs nevar paļauties uz informāciju, ka graudaugs pēc būtības ir bezglutēna. Līdz ar to var secināt, ka celiakijas slimniekam pilnīgi droša ir tikai tā pārtika, kas ražota speciāli paredzētās telpās un attiecīgi sertificēta. Jaunu produktu izstrādei glutēna saturā dēļ ieteicamāki ir paraugi, kas ietilpst otrajā un trešajā grupā.

5. Jaunu produktu izstrāde un analīze

Tirgū piedāvāto bezglutēnu maizi bieži vien raksturo zema kvalitāte, neizteikta porainība un krāsa, nepatīkama pēcgarša, tā satur maz uzturvielu un ātri sacītē. Pamatojoties uz iepriekš uzkrāto pieredzi un citu zinātnieku pētījumu rezultātiem, strādāts pie jaunu, kvalitatīvu un uzturvielām bagātu bezglutēnu produktu izveides.

Bezglutēna maize

Par pamatu jaunu receptūru izveidē izmantota kukurūzas maize ar ekstrudētajiem miltiem, kas izstrādāta promocijas darba autores iepriekšējos pētījumos (*Ozola et al.*, 2011; *Ozola et al.*, 2012). Lai dažādotu maizes klāstu, pilnveidotu tās kvalitāti un paaugstinātu uzturvērtību, no miltu maisījuma, kas maizes gatavošanā izmantots iepriekšējos pētījumos, izslēgti rīsu un ekstrudētie kukurūzas milti, tie aizvietoti ar amaranta un kvinojas miltiem. Izstrādes procesā iegūti divi miltu maisījumi, kas piemēroti bezglutēna maizes gatavošanai.

Pirmajā miltu maisījumā rīsu un ekstrudētie kukurūzas milti aizstāti ar amaranta miltiem (53% no kopējā kukurūzas miltu daudzuma), kas būtiski neietekmē bezglutēna maizes kvalitāti salīdzinājumā ar kukurūzas maizi ar ekstrudētajiem miltiem. Šādi iegūta receptūra kukurūzas-amaranta maizei (S0DY1) (5. tabula).

Pēc zinātniskās literatūras analīzes var secināt, ka, lai uzlabotu bezglutēnu produktu kvalitāti, izmantojami dažādi paņēmieni, viens no tiem ir olbaltumvielu vai izdalīto olbaltumvielu, piemēram, olu, piena vai sojas pupiņu olbaltumvielu pievienošana (*Gallagher et al.*, 2003; *Marco, Rosell*, 2008; *Crockett et al.*, 2011). Izmantojot sojas miltus, poras maizes mīkstumā klūst vienmērīgākas, palielinās maizes apjoms, uzlabojas struktūra, kā arī iespējams pagarināt izstrādājuma derīguma termiņu (*Sim, Tam*, 2001; *Curic et al.*, 2007).

5. tabula / Table 5

Bezglutēna maizes receptūras uz 1 kg miltu / Gluten-free bread recipes using 1 kg of flour

29

Sastāvdaļas / Ingredients, g	Paraugs / Sample									
	S0DY1	S4DY1	S4DY2	S5DY1	S5DY2	S6DY1	S6DY2	G0DY2	G1DY2	G2DY2
Kukurūzas milti / Maize flour	650	358	358	325	325	260	260	500	450	425
Amaranta milti / Amaranth flour	350	350	350	350	350	350	350	—	—	—
Sojas milti / Soy flour	—	292	292	325	325	390	390	—	—	—
Kvinojas milti / Quinoa flour	—	—	—	—	—	—	—	200	200	200
Turku zirņu milti / Gram flour	—	—	—	—	—	—	—	300	250	225
Glutēna aizvietotājs / Gluten substitute	—	—	—	—	—	—	—	—	100	150
Sausais raugs / Dry yeast	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cukurs / Sugar	80	80	80	80	80	80	80	—	—	—
Cukura sīrups / Sugar syrup	—	—	—	—	—	—	—	125	125	125
Sāls / Salt	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15
Ēļa / Oil	128	128	128	128	128	128	128	100	100	100
Ābolu etiķis /Apple vinegar	20	20	20	20	20	20	20	25	25	25
Olas / Eggs	320	—	—	—	—	—	—	275	275	275
Ūdens / Water	960	960	1520	960	1520	960	1520	1520	1520	1520
Kopā / Total	2541	2221	2781	2221	2781	2221	2781	3076	3076	3076
Mīklas iznākums / Dough yield	196	196	252	196	252	196	252	252	252	252

S0DY1 – maize bez sojas miltiem / bread without soy flour, DY196; **S4DY1** – maize ar 45% sojas miltu / bread with 45% of soy flour, DY196; **S4DY2** – maize ar 45% sojas miltu / bread with 45% of soy flour, DY252; **S5DY1** – maize ar 50% sojas miltu / bread with 50% of soy flour, DY196; **S5DY2** – maize ar 50% sojas miltu / bread with 50% of soy flour, DY252; **S6DY1** – maize ar 60% sojas miltu / bread with 60% of soy flour, DY196; **S6DY2** – maize ar 60% sojas miltu / bread with 60% of soy flour, DY252; **G0DY2** – maize bez glutēna aizvietotāja / bread without gluten substitute, DY252; **G1DY2** – maize ar 10% glutēna aizvietotāja / bread with 10% of gluten substitute, DY252; **G2DY2** – maize ar 15% glutēna aizvietotāja / bread with 15% of gluten substitute, DY252

Lai uzlabotu maizes kvalitāti un izvērtētu sojas miltu ietekmi uz kukurūzas-amaranta maizes kvalitāti, katram maizes paraugam pievienoti sojas milti no 5 līdz 75% no kopējā kukurūzas miltu daudzuma. Pētījuma rezultāti parāda, ka optimālais sojas miltu daudzums ir 45–60% no kukurūzas miltiem.

Otrajā miltu maisījumā iepriekš izstrādātajā kukurūzas maizes ar ekstrudētajiem miltiem receptūrā ietilpst ošie, rīsu un ekstrudētie kukurūzas milti aizstāti ar kvinojas (40% no kopējā kukurūzas miltu daudzuma) un turku zīņu miltiem (60% no kopējā kukurūzas miltu daudzuma), iegūtot receptūru kukurūzas-turku zīņu maizei (G0DY1) (5. tabula). Viens no risinājumiem, kā uzlabot bezglutēna maizes kvalitāti, ir veidot miltu maisījumus, pievienojot tiem kukurūzas vai kartupeļu cieti (Abdel-Aal, 2009; Onyango *et al.*, 2011). Tā labāk saista ūdeni, padara mīkstāku maizes mīkstumu un piešķir maizei vienmērīgu porainību. Lai maizei piešķirtu glutēnam raksturīgās īpašības, izmanto arī ksantānu un guāra sveķus (Anton, Artfield, 2008; Peressini *et al.*, 2011). Lai aplūkotu bezglutēna maizes gatavošanu no patērētāju skatu punkta, šajā procesā izmantots Latvijas tirgū pieejamais glutēna aizvietotājs, kas pēc būtības ir miltu maisījums ar guāra sveķiem. Eksperimenta pirmajā posmā katram maizes paraugam pievienots glutēna aizvietotājs no 5 līdz 50% no kopējā miltu daudzuma. Pētījuma rezultāti parāda, ka optimālais glutēna aizvietotāja daudzums ir 10–15% no kopējā miltu daudzuma (5. tabula).

Krāsa ir svarīga īpašība pārtikas produktiem, tas ir cieši saistīta ar produkta struktūru un aromātu, kā arī ar patērētāju izvēli (Esteller, Lannes, 2008). 6. tabulā apkopotas bezglutēna maizes mīkstuma krāsas izmaiņas kukurūzas-amaranta maizes paraugos atkarībā no pievienotā sojas miltu daudzuma, bet kukurūzas-turku zīņu maizes paraugos – no glutēna aizvietotāja daudzuma. Rezultāti parāda, ka sojas milti un glutēna aizvietotājs būtiski ($p<0,05$) ietekmē maizes mīkstuma krāsas komponentes.

6. tabula / Table 6

**Bezglutēna maizes mīkstuma krāsas raksturojums /
Characterisation of the colour of gluten-free bread crumb**

Paraugi / Samples	Krāsas komponente / Colour value			ΔE
	L*	a*	b*	
S0DY1	63.04±0.70 ^d	-3.08±0.40 ^b	34.44±0.66 ^a	—
S4DY1	61.68±0.64 ^c	-2.34±0.46 ^{bc}	31.25±0.43 ^b	3.54
S5DY1	61.16±0.76 ^c	-2.07±0.50 ^c	30.89±0.55 ^{bc}	4.14
S6DY1	61.26±0.76 ^c	-2.05±0.43 ^c	30.99±0.49 ^{bc}	4.01
S4DY2	62.68±0.55 ^c	-3.07±0.57 ^b	30.12±0.69 ^{bc}	4.33
S5DY2	62.62±0.61 ^c	-2.78±0.45 ^c	31.56±0.64 ^b	2.92
S6DY2	62.29±0.72 ^c	-2.60±0.60 ^{bc}	29.59±0.55 ^c	4.93
G0DY2	69.27±0.26 ^b	-4.72±0.59 ^a	35.98±0.35 ^a	—
G1DY2	68.30±0.39 ^b	-4.78±0.69 ^a	31.11±0.57 ^b	4.97
G2DY2	70.74±0.40 ^a	-4.51±0.51 ^a	30.84±0.22 ^b	5.35

Kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar sojas miltiem mīkstuma krāsa ir gaiši dzeltena ($L^*=61,16\pm62,68$; $a^*=-2,05\pm-3,07$; $b^*=29,59\pm31,56$). Maizes paraugi ar sojas miltiem, salīdzinot ar paraugu S0DY1, ir gaišāk dzelteni, samazinās krāsu komponentes L^* vērtība (no $63,64\pm0,70$ uz $61,16\pm0,76$) un b^* vērtība (no $34,24\pm0,66$ līdz $29,59\pm0,50$). Receptūrā palielinot pievienoto sojas miltu daudzumu, proporcionāli samazinās izmantotie kukurūzas milti, līdz ar to maizes mīkstums vairs nav tik dzeltenš.

Paraugiem S5DY1 un S5DY2 maizes mīkstuma krāsu atšķirība salīdzinājumā ar paraugu S0DY1 ir acīm saredzama ($2<\Delta E<3,5$). Savukārt pārējiem kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar sojas miltiem, salīdzinot ar paraugu S0DY1, krāsas atšķirība ir izteikta un ar acīm saskatāma, jo $3,5<\Delta E<5$.

Būtiska ($p<0,05$) atšķirība vērojama kukurūzas-amaranta un kukurūzas-turku zirņu maizes mīkstuma krāsas komponentes b^* vērtībā. Kukurūzas-turku zirņu maizes paraugiem tā ir 1,5–2 reizes lielāka, un tas skaidrojams ar kukurūzas un turku zirņu miltu raksturīgo dzelteno krāsu un receptūrai pievienotajām olām. Kukurūzas-turku zirņu maizes paraugu mīkstumam ir izteikti dzeltena krāsas ($L^*=68,30\pm70,74$; $a^*=-4,51\pm-4,78$; $b^*=30,84\pm35,98$), ko nodrošina kukurūzas un turku zirņu miltu raksturīgā dzeltenā krāsa. Pievienojot glutēna aizvietotāju ($L^*=85,68$; $a^*=-1,10$; $b^*=11,93$), maizes paraugiem palielinās krāsas komponentes L^* vērtība un samazinās krāsas komponentes b^* vērtība. Krāsas atšķirība starp kukurūzas-turku zirņu maizes paraugu G0DY2 un paraugiem G1DY2 ($\Delta E=4,97$) un G2DY2 ($\Delta E=5,35$) ir izteikta un ar acīm saskatāma ($3,5<\Delta E<5$) (6. tabula).

Maizes kvalitāti raksturo struktūra, elastība, porainība, garozas un mīkstuma krāsa. Kukurūzas-amaranta maizes mīkstuma cietība ir no $2,41\pm0,60$ N paraugam S6DY2 līdz $10,94\pm0,63$ N paraugam S5DY1, savukārt kukurūzas-turku zirņu maizei – no $6,47\pm0,82$ N paraugam G2DY1 līdz $13,15\pm0,62$ N paraugam G0DY2. Maizes gatavošanā izmantotie milti un pievienotais sojas miltu, glutēna aizvietotāja un ūdens daudzums būtiski ($p<0,05$) ietekmē maizes mīkstuma cietību. Autores pētījuma rezultāti parāda, ka bezglutēna maizes paraugi ar sojas miltiem un mīklas iznākumu 252 ir 2,5–4,5 reizes mīkstāki par paraugiem ar mīklas iznākumu 196.

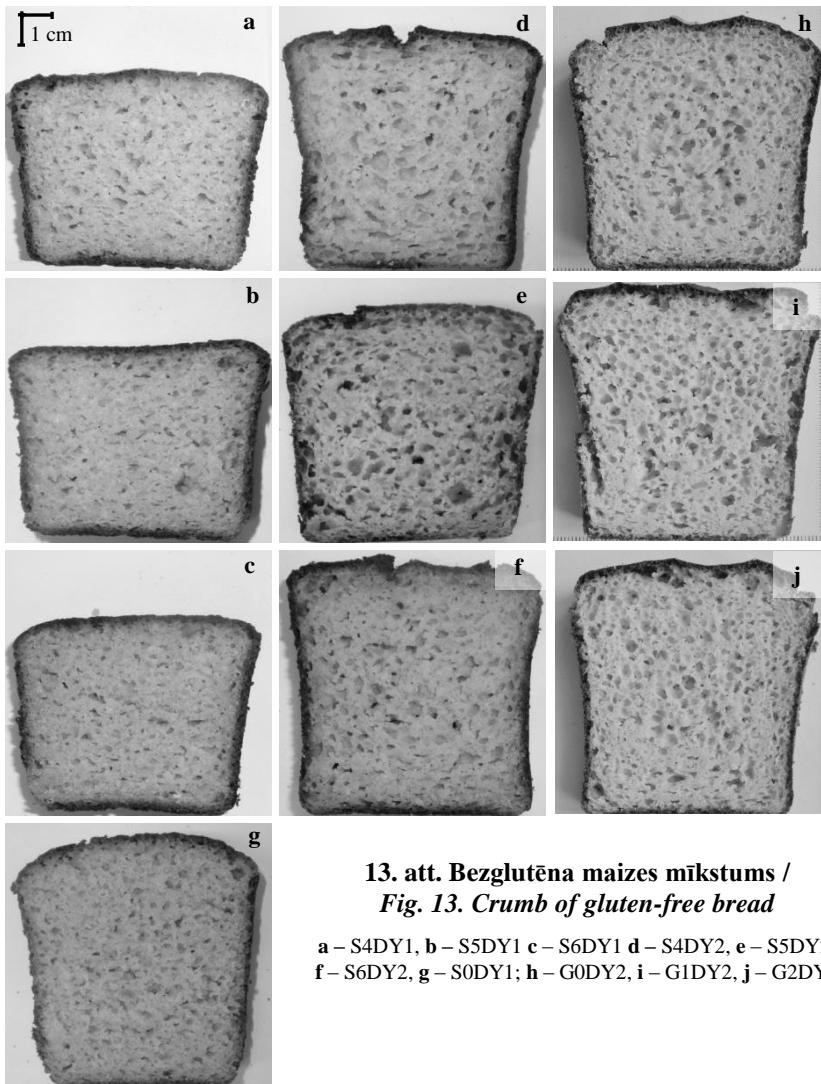
Iepriekš veiktā pētījuma (Vilmane, Straumite, 2014) par sojas miltu ietekmi uz bezglutēna mīklas reologiskajām īpašībām rezultāti liecina, ka paraugiem ar mīklas iznākumu 196 (mīklas paraugam ir bieza konsistence) piemīt izteikti lielāka stingrība un elastība nekā paraugiem ar mīklas iznākumu 252 (mīklas paraugam ir šķidra konsistence). Šā pētījuma rezultāti parāda, ka, pievienojot sojas miltus, kukurūzas-amaranta maizes mīkstums klūst mīkstāks, ja mīklas iznākums ir 252. Elastīga un stingra bezglutēna mīkla kā maizes paraugiem ar mīklas iznākumu 196, cepšanas laikā veido blīvu maizes mīkstumu. No tā izriet, ka lai bezglutēna maizei izveidotos labs apjoms un mīkstums, mīklas konsistencei jābūt šķidrai un plūstošai, tādēļ tai nepieciešams pievienot lielāku ūdens daudzumu. Šādu atziņu pētījuma rezultātā ieguvuši arī īru zinātnieki, kas secinājuši, ka bezglutēna mīklai jābūt šķidrākai nekā kviešu mīklai (Hager et al., 2012).

Savukārt kukurūzas-turku zirņu maizē novērojama atšķirīga tendence. Kukurūzas-turku zirņu maizes paraugs G0DY2 ir 1,5–2,0 reizes cietāks nekā paraugi G1DY2 un G2DY1 un 3,0–4,5 reizes cietāks par kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar mīklas iznākumu 252, kas ir tāds pats kā paraugam G0DY2. Būtiskā maizes cietības atšķirība kukurūzas-turku zirņu un kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar mīklas iznākumu 252, skaidrojama ar maizes gatavošanā izmantoto miltu īpašībām. Kukurūzas-zirņu maizes mīkstuma kvalitāte uzlabojas, pievienojot glutēnu aizvietotāju, maizes mīkstums kļūst mīkstāks. Maizes cietība ir cieši saistīta ar maizes apjomu un poru izmēru, daudzumu un izvietojumu maizes mīkstumā, ko cepšanas laikā nodrošina rūgšanas procesā radusies CO_2 gāze. Lai gan kukurūzas-turku zirņu maizes mīkstuma cietība līdzinās kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar mīklas iznākumu 196 raksturīgajai, abu maizes paraugu apjoms būtiski (13. attēls a–c, h–j) atšķiras. Visiem kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar mīklas iznākumu 196 (13. att. a–c) salīdzinot ar kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar mīklas iznākumu 252 (13. att. d–g) un kukurūzas-turku zirņu maizes paraugiem (13. att. h–j), ir mazs maizes apjoms, blīvs maizes mīkstums ar mazām un neregulāras formas porām un nevienmērīgu porainību.

Kukurūzas-amaranta maizes paraugam S0DY1 ir pietiekams apjoms un vienmērīga porainība, poras ir vienāda izmēra, ar plānām sienām un cieši blakus cita citai, tādēļ sasaistās vienā tīklā (13. att. g). Kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar mīklas iznākumu 252 maizes apjoms ir līdzīgs kā paraugam S0DY1, lielām, neregulāras formas porām (13. att. d–f), kas nodrošina maizes apjomu un mīkstu maizes mīkstumu. Savstarpēji salīdzinot kukurūzas-amaranta maizes paraugus ar mīklas iznākumu 252, paraugiem S4DY2 un S6DY2 (3.24. att. d un f) maizes apjoms ir līdzīgs, bet parauga S5DY2 (13. att. e) apjoms ir mazāks nekā abiem pārējiem kukurūzas-amaranta maizes paraugiem ar DY252.

Kukurūzas-turku zirņu maizes paraugiem (13. att. h–j) ir pietiekams maizes apjoms ar vienmērīgu porainību, kas būtiski neatšķiras ($p>0,05$) no kukurūzas-amaranta maizes parauga S0DY1 attiecīgajiem parametriem (13. att. g). Salīdzinot visu maizes paraugu apjomu, secināms, ka lielākais maizes apjoms ir kukurūzas-turku zirņu maizes paraugam G1DY2. Palielinoties pievienotajam glutēna aizvietotāja daudzumam paraugā G2DY2, samazinās maizes apjoms salīdzinājumā ar paraugu G1DY2.

Svarīgi ir ne tikai izstrādāt jaunus produktus, bet arī noteikt glutēna saturu tajos. Izstrādātajos bezglutēna maizes paraugos glutēna saturs ir no $68,54\pm0,42 \text{ mg kg}^{-1}$ kukurūzas-turku zirņu maizes paraugā G1DY2 līdz $84,26\pm0,51 \text{ mg kg}^{-1}$ kukurūzas-amaranta maizes paraugā S6DY2. Lai gan izstrādājumu gatavošanai izmantoti milti ar mazu glutēna saturu ($18,86 \text{ mg kg}^{-1}$ kukurūzas miltos KUM13 – $35,31 \text{ mg kg}^{-1}$ turku zirņu miltu paraugā TZM24), maizē tas ir paaugstināts, bet nepārsniedz 100 mg kg^{-1} . Iegūtie rezultāti skaidrojami ar to, ka eksperimenti veikti telpā, kur strādā ar kviešu un rudzu miltiem un iespējama kontaminācija ar glutēnu.



**13. att. Bezglutēna maizes mīkstums /
Fig. 13. Crumb of gluten-free bread**

a – S4DY1, b – S5DY1 c – S6DY1 d – S4DY2, e – S5DY2,
f – S6DY2, g – S0DY1; h – G0DY2, i – G1DY2, j – G2DY2

Bezglutēna mafini

Konditorejas izstrādājumi ir neatņemama ikdienas un svētku ēdienkartes sastāvdaļa. Mafini ir viens no konditorijas izstrādājumu veidiem, kuru pagatavošanai izmanto miltus, pienu, cepamo pulveri, olas un citas izejvielas produktiem, kas pilnveido un bagātina produkta garšu (7. tabula).

Pētījuma mērķis ir analizēt dažādu šķidrumu ietekmi uz bezglutēna mafinu kvalitāti. Pienu aizstāšana ar sauso pienu (piena un ūdens maisījumu) vai ūdeni,

neietekmējot bezglutēna mafinu kvalitāti, ir svarīgs uzdevums. Tas veicinās ražošanas procesu, jo sausā piena lietošana un uzglabāšana ir vienkāršāka nekā pienam. Turklat, ja piena vietā mafiniem pievienos ūdeni, tie būs piemēroti arī celiakijas slimniekiem, kam ir laktozes nepanesība.

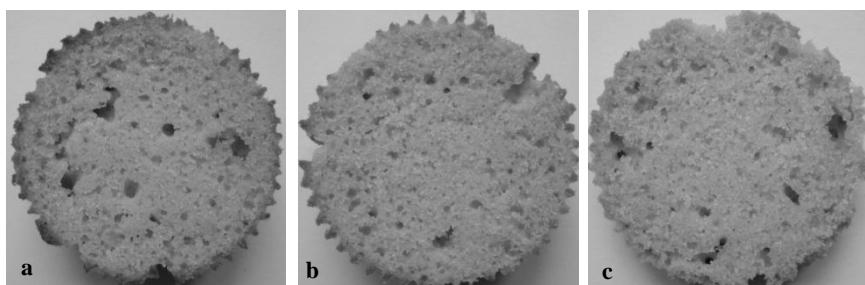
7. tabula / Table 7

**Bezglutēna mafinu receptūra uz 1 kg miltu /
Gluten-free muffins formulation using 1 kg of flour**

Izejvielas / Ingredients, g	Paraugi / Samples		
	MP*	MPU	MU
Kukurūzas milti / Maize flour	1000	1000	1000
Cukurs / Sugar	580	580	580
Sviests / Butter	435	435	435
Olas / Eggs	580	580	580
Cepamais pulveris / Baking powder	14	14	14
Vaniļas cukurs / Vanilla sugar	10	10	10
Piens / Milk	725	—	—
Sausais piens / Dry milk	—	66	—
Ūdens / Water	—	725	725
Kopā / Total	3344	3410	3344

*MP – mafins ar pienu / *muffins with milk*, MPU – mafins ar piena-ūdens maisījumu / *muffins with a mix of milk and water*, MU – mafins ar ūdeni / *muffins with water*

Rezultāti liecina, ka, mafinu gatavošanā izmantotā šķidruma veidam nav būtiska ($p>0,05$) ietekme uz bezglutēna mafinu augstumu un cietību. Vislielākais augstums konstatēts mafinam ar pienu (MP) – 31,83 mm, bet vismazākais – 28,70 mm – mafinam ar ūdeni (MU). Iegūtie rezultāti liecina, ka mafini ar pienu ir par 1,88% mīkstāki nekā mafini ar piena-ūdens maisījumu (MPU) un par 5,17% – nekā mafini ar ūdeni (MU). Produkta cietība ir cieši saistīta ar mīkstuma poru struktūru. Mafinam ar pienu mīkstumā ir lielas poras (14. attēls a), tādēļ tas ir mīkstāks nekā citi paraugai, bet mafiniem ar piena-ūdens maisījumu vai ūdeni poras ir homogēnas, ciešas un vienmērīgi izvietotas pa visu mafina mīkstumu (14. att. b–c). Starp mafinu ar pienu un mafinu ar piena-ūdens maisījumu cietību nav būtiskas atšķirības ($p>0,05$), un tas liecina, ka ražošanā pienu var aizstāt ar sausā piena pulveri.



14. att. Bezglutēna mafinu mīkstums / Fig. 14. Crumb of gluten-free muffins

Mafinu gatavošanā izmantotais šķidrums būtiski ($p<0,05$) ietekmē visu mafinu veidu garozas krāsas komponentes L^* un b^* . Tumšākā garozas krāsa ($L^*=40,74\pm1,18$) ir mafinam ar pienu (MP), bet gaišākā ($L^*=50,88\pm1,48$) – mafinam ar ūdeni (MU). Krāsas komponente b^* raksturo dzeltenās krāsas spektru, kas mafiniem ar piena-ūdens maisījumu (MPU) un ūdeni (MU), salīdzinot ar mafinu ar pienu (MP), palielinās, jo garozas krāsa kļūst dzeltenāka. Paraugu garozas krāsas atšķirība skaidrojama ar to, ka, izmantojot pienu mafinu gatavošanā, tiek pievienots papildu cukurs – laktoze, kas piedalās Mailarda reakcijā un cukuru karamelizācijas procesā, tādējādi nodrošinot mafinu garozas brūno krāsu (Cross, 2004). Nav būtiskas atšķirības ($p>0,05$) starp visu mafinu veidu mīkstuma krāsas komponenšu L^* , a^* un b^* vērtībām. Līdz ar to var secināt, ka, izmantotais šķidruma veids ietekmē ($p<0,05$) mafina garozas krāsu, bet mīkstuma krāsu neietekmē ($p>0,05$).

Mafinu garozas krāsas atšķirības ir cilvēka acīm novērojamas ($\Delta E>5$) – no izteikti brūnas līdz gaiši brūnai vai maigi dzeltenai krāsai (8. tabula). Lielākā krāsu atšķirība ir $\Delta E=14,64$, kas konstatēta starp mafinu ar pienu (MP), kam garoza ir tumši brūna, un mafinu ar piena-ūdens maisījumu (MPU), kuram tā ir gaiši dzeltena. Krāsas atšķirība $\Delta E=0,98$ nav acīm redzama starp mafina ar pienu (MP) un mafina ar piena-ūdens maisījumu (MPU) mīkstumiem. Krāsas atšķirība $\Delta E=1,67$ starp mafinu mīkstumu paraugiem MP un MU redzama tikai apmācītam speciālistam. Visu mafinu mīkstuma krāsa ir līdzīga, tādēļ var secināt, ka pievienotais šķidruma veids neietekmē mīkstuma krāsu.

8. tabula / Table 8
**Mafinu garozas un mīkstuma absolūtās krāsas difference (ΔE) /
Colour differences (ΔE) between muffin crust and crumb**

Paraugs / Sample	Garoza / Crust			Mīkstums / Crumb		
	MP	MPU	MU	MP	MPU	MP
MP	0	×	×	0	×	×
MPU	6.66	0	×	0.98	0	×
MU	14.64	8.02	0	1.67	0.95	0

Zemākais glutēna saturs ($47,28\pm0,42 \text{ mg kg}^{-1}$) konstatēts paraugā, kura gatavošanai izmantots ūdens (MU), bet augstākais – mafinam ar pienu (MP) – $53,19\pm0,51 \text{ mg kg}^{-1}$. Bezglutēna mafinos salīdzinājumā ar izstrādātajiem bezglutēna maizes paraugiem ir zemāks glutēna saturs, tādēļ, ka mafini netika cepti laboratorijā, kur iespējama kontaminēšanās ar glutēnu.

Jauno produktu uzturvērtības analīze

Pētījumā izstrādāto produkta uzturvērtība aprēķināta, balstoties uz izejvielu piegādātāju vai ražotāja norādīto uzturvērtības informāciju (9. tabula).

Latvijas tirgū pieejamā bezglutēna maize satur:

- taukus 2,3–7,3 g 100 g⁻¹;
- ogļhidrātus 28,2–52,0 g 100 g⁻¹;

- šķiedrvielas 3,0–7,4 g 100 g⁻¹;
- olbaltumvielas 0,9–8,9 g 100 g⁻¹;
- sāli 0,8–1,3 g 100 g⁻¹;
- enerģētisko vērtību 207–282 kcal, 845–1236 kJ.

9. tabula / Table 9

**Jauno produktu teorētiski aprēķinātā uzturvērtība /
New product theoretically calculated nutritional value**

Paraugs/ Sample	Uzturvielas 100 g produkta / Nutrients per 100 g product					Enerģētiskā vērtība / Energy value, kcal/kJ
	Tauki / Fats, g	Oglīhidrāti / Carbohydrates, g	Šķiedr- vielas/ Fibres, g	Olbaltum- vielas / Proteins, g	Sāls / Salt, g	
S0DY1	8.3	29.4	4.2	6.3	0.7	221 / 927
S4DY1	10.6	25.0	4.4	9.7	0.8	240 / 1005
S4DY2	9.0	21.2	5.6	8.2	0.7	204 / 853
S5DY1	10.9	24.0	4.2	10.2	0.8	241 / 1010
S5DY2	9.2	20.4	5.8	8.7	0.7	205 / 857
S6DY1	11.5	22.1	4.5	11.3	0.8	244 / 1019
S6DY2	9.7	18.8	6.2	9.6	0.7	207 / 865
G0DY2	6.7	30.6	4.5	7.6	0.7	221 / 931
G1DY2	6.6	30.7	5.3	7.3	0.7	246 / 927
G2DY2	7.1	33.2	6.4	7.6	0.8	237 / 997
MP	15.7	49.7	1.5	6.0	0.0	365 / 1532
MPU	14.6	48.7	1.5	5.9	0.0	351 / 1472
MU	14.9	48.5	1.5	5.1	0.0	349 / 1466

Pētījumā izstrādātajos maizes paraugos tauku saturs ir robežās no 7,1 g 100 g⁻¹ (paraugā G2DY2) līdz 11,5 g 100 g⁻¹ (paraugā S6DY1), un tas ir augstāks nekā tirgū pieejamajiem produktiem. Šis apstāklis skaidrojams ar to, ka sojas miltos ir augsts tauku saturs (18,2 g 100 g⁻¹), tādēļ produkta tauku saturs pieaug līdz ar tam pievienoto sojas daudzumu.

Nepastāv būtiska atšķirība starp tirgū pieejamo un autores izstrādāto maizes paraugu šķiedrvielu saturu (no 4,2 g 100 g⁻¹ paraugā S0DY1 līdz 6,4 g 100 g⁻¹ paraugā G1DY2). Izstrādātie bezglutēna maizes paraugi satur zemāku oglīhidrātu (no 18,8 g 100 g⁻¹ paraugā S6DY2 līdz 33,2 g 100 g⁻¹ paraugā G2DY2) un sāls (no 0,7 līdz 0,8 g 100 g⁻¹) daudzumu salīdzinājumā ar tirgū pieejamajiem produktiem. Kukurūzas-turku zirņu maizes miltu maisījumā ietilpst ošajiem bezglutēna miltiem ir augsts cietes saturs, un, viena no galvenajām glutēna aizvietotāja sastāvdaļām ir kukurūzas ciete, līdz ar to kukurūzas-turku zirņu maizei ir augstāks cietes saturs nekā kukurūzas-amaranta maizei.

Olbaltumvielu saturs izstrādātajā bezglutēna maizei ir robežās no 6,3 g 100 g⁻¹ paraugā S0DY1 līdz 11,3 g 100 g⁻¹ paraugā S6DY1, un tas ir apmēram divas reizes augstāks nekā tirgū pieejamajā bezglutēna maizei. Kukurūzas-amaranta maizei satur vairāk olbaltumvielu, jo receptūrā izmantoti sojas milti, kas ir labs olbaltumvielu avots.

Ja vienā ēdienreizē pieaugušais apēdīs divas izstrādātās maizes šķēles (ar kopējo svaru 60 g), tad viņš iegūs 6,2 līdz 7,2% no ieteicamās enerģētiskās vērtības devas. Lai gan izstrādātajā bezglutēna maizē ir vairāk tauku ar šo maizi uzņemtais energijas daudzums procentos no ieteicamās devas būtiski neatšķiras no tirgū pieejamās bezglutēna maizes kaloritātes.

Bezglutēna mafinus raksturo augsts tauku un oglīhidrātu saturs – tāpat kā visus miltu konditorejas izstrādājumus – un ļoti zems šķiedrvielu saturs.

SECINĀJUMI

1. Bezglutēna izstrādājumu patēriņāji ir apmierināti ar miltu (60,0%), miltu maisījumu (49,3%) un makaronu (49,3%) kvalitāti, bet nav apmierināti ar maizes (25,3%), konditorejas izstrādājumu (37,3%) un saldumu (46,7%) kvalitāti.
2. Bezglutēna miltus un miltu maisījumus pēc marķējumā norādītās uzturvērtības informācijas var iedalīt četros klasteros. Pirmajā ietilpst griķu un kvinojas milti ar augstu tauku un vidēju olbaltumvielu saturu, otrajā – rīsu, kukurūzas milti un miltu maisījumi ar augstu oglīhidrātu un zemu olbaltumvielu saturu, trešajā – sojas milti ar augstu olbaltumvielu un tauku saturu, savukārt ceturtajā – zirņu milti ar augstu olbaltumvielu saturu.
3. Aprēķinot bezglutēna produktu enerģētisko vērtību, tiek izmantoti neprecīzi vai kļūdaini koeficienti, tādēļ 35% bezglutēna miltu paraugu un 6% bezglutēna maizes paraugu konstatēta būtiska atšķirība ($p<0,05$) starp norādīto un pārrēķināto enerģētisko vērtību. 100% analizētajiem miltu maisījumiem enerģētiskā vērtība norādīta precīzi.
4. Bezglutēna maizi raksturo augsts oglīhidrātu saturs ($28,2\text{--}52,0 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) un zems olbaltumvielu ($0,9\text{--}8,9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) saturs.
5. Latvijā audzētajās auzās glutēna saturs ir no $103,83 \text{ mg kg}^{-1}$ plēkšņaino auzu šķirnē ‘Laima’ līdz $469,37 \text{ mg kg}^{-1}$ kailgraudu auzu šķirnē ‘Stendes Emīlija’. Tā kā glutēna saturs ir augstāks par 100 mg kg^{-1} , Latvijā audzētās plēkšņaino un kailgraudu auzu šķirnes un selekcijas līmijas nav piemērotas bezglutēna diētai.
6. Bezglutēna miltu fizikālos un ķīmiskos rādītājus būtiski ietekmē ($p<0,05$) graudaugu veids un maluma pakāpe.
7. Glutēnu nesatur ($\text{līdz } 20 \text{ mg kg}^{-1}$) 16% no analizētajiem bezglutēna miltiem, bet 68% – mazs glutēna saturs ($\text{līdz } 100 \text{ mg kg}^{-1}$).
8. Bezglutēna maizes mīkstuma cietību, porainību un krāsu būtiski ietekmē ($p<0,05$) pievienotais sojas miltu un glutēna aizvietotāja daudzums. Mafinu kvalitāti būtiski neietekmē ($p>0,05$) pievienotā šķidruma veids, tādēļ var izmantot gan ūdeni, gan pieni.
9. Izstrādātā bezglutēna maize satur vairāk olbaltumvielu ($6,3\text{--}11,3 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), tauku ($7,1\text{--}11,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), bet mazāk oglīhidrātu ($18,8\text{--}33,2 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) un sāls ($0,7\text{--}0,8 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), salīdzinot ar tirgū pieejamo maizi.

10. Pētījumā iegūtie dati apstiprina izvirzīto hipotēzi – inovačīvus un drošus bezglutēna produktus var iegūt, izvēloties noteiktus graudaugus un pseidograudaugus un to kombinācijas.

PRIEKŠLIKUMI

1. Patērētājiem, bezglutēna diētai izvēloties griķu, rīsu, kukurūzas, kvinojas, amaranta, zirņu u.c. miltus, kas nav atbilstoši marķēti, jārēķinās ar iespējamo risku, ka glutēna saturs var būt lielāks par atļauto normu – 100 mg kg^{-1} .
2. Latvijā audzētās plēkšnaino auzu šķirnes ‘Laima’ un ‘Iwory’ satur glutēnu tuvu maksimāli pieļaujamajai normai (100 mg kg^{-1}). Līdz ar to cilvēki ar glutēna nepanesību, nesmot vērā celiakijas pakāpi, ēdienkartē var iekļaut auzu produktus, kas gatavoti no plēkšnaino auzu šķirnēm ‘Laima’ un ‘Iwory’.
3. Jaunu bezglutēna produktu izstrādē ieteicams izmantot pseidograudaugu (amaranta, kvinojas) un pākšaugu (sojas, zirņu) miltus, jo tie ir bagāti ar šķiedrvielām, cieti, olbaltumvielām un fenoliem.
4. Latvijas selekcionāriem perspektīvā nepieciešams strādāt ar plēkšnaino auzu šķirnēm ‘Laima’ un ‘Iwory’, lai tās pielāgotu cilvēkiem ar celiakiju.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Grain products are the basis of nutrition, as the carbohydrates and proteins they contain, provide for almost two thirds of the calories necessary for a human body per day, moreover, those are an important source of vitamin B and fibre.

Coeliac disease is an autoimmune disorder of the alimentary tract caused by intolerance of gluten (*Zandonadi et al.*, 2009). It is one of the most common illnesses that lasts the entire life and affects about 0.5–1.0% of all the world's population (*Catassi, Fasano, 2008; Ludvigsson et al., 2014*). In Europe, 1 person per 130–550 people is affected by coeliac disease, in the USA – 1 person per 133 people (*McLoughlin et al., 2003; Gujral et al., 2012*). According to data of the Ministry of Health of the Republic of Latvia, in 2013, there were 1200 officially registered children suffering from coeliac disease, however, the actual number might be larger, as similar tendencies have been observed in the world.

Coeliac disease is caused by grain protein with a large proportion of prolamine. Prolamine is characterised by high level of proline and glutamine / glutamic acid of amino acids. The composition, amount and sequence of amino acids defines suitability of grain products for people with coeliac disease (*Guilbert et al., 2002; Pietzak, Fasano, 2005*). Prolamine in wheat is gliadin, in barley – hordein, in rye – secalin, in oats – avenin and in maize – zein (*Belitz et al., 2009b*).

The EU Commission Regulation No. 41/2009 on labelling of foodstuffs suitable for people intolerant to gluten stipulates that gluten-free products are foodstuffs of a special diet produced, cooked and / or processed to be suitable to people intolerant to gluten. Gluten, in its turn, is defined as a protein of wheat, rye, barley, oats or the crossed-strain protein and its derivatives to which some people are intolerant to and that does not dissolve in water and 0.5 M NaCl solution.

People suffering from coeliac disease have to observe gluten-free diet to live a fully effective life. Patients of comprehensive life, who observe a strict diet, i.e., use gluten-free foodstuffs, may experience restoration and recovery of walls of small intestine. Nowadays it is not a problem anymore, as stores and pharmacies offer different gluten-free foodstuffs. The common gluten-free products available in the Latvian market are: flour (rice, maize, buckwheat, soy etc.), breakfast cereals, pastas, galettes, biscuits, bread etc. However, there is almost no gluten-free foodstuffs which are produced in Latvia, majority of those mentioned above are imported from abroad. Prices of gluten-free products are comparatively high and taste and looks of the ready-made bread products, which can be impacted by the used ingredients, not always comply with consumers' desires. Therefore, local producers have wide opportunities to develop new foodstuffs and offer those in the market.

The grain proteins allowed in a gluten-free diet do not possess the same technological characteristics as the wheat gluten. Replacement of gluten in gluten-free products is the most complicated task for food technologists. With the demand for gluten-free products increasing in the last twenty years, studies are conducted on development of gluten-free products, opportunities to improve their quality and increase their nutritional value.

Hypothesis of the Doctoral thesis: innovative and safe gluten-free products can be obtained selecting specific grain and pseudograin and their combinations.

Hypothesis of the Doctoral thesis is proved by the following **theses to be defended:**

1. High quality gluten-free flour and flour products dominate in the Latvian market.
2. Nutritional information provided in the labelling of gluten-free flour and bread complies with the requirements of laws.
3. Gluten-free flour is rich in biologically active compounds.
4. The content of gluten in the gluten-free flour available in the Latvian stores complies with the maximum permitted limits.
5. Certain varieties of oats grown and selected in Latvia are suitable for the gluten-free diet.
6. The quality of gluten-free bread is improved by flour of soy, amaranth, quinoa and peas.
7. The quality of gluten-free muffins is impacted by the type of liquid used during cooking.

Object of the Doctoral thesis is: gluten-free flour and products.

Aim of the Doctoral thesis is to study the quality of gluten-free grain and pseudograin flour available in Latvia and determine their suitability for development of innovative and safe foodstuffs for people suffering from coeliac disease.

The following **tasks** have been set to reach the aim of the thesis:

1. to find out the consumers' attitude towards the quality of gluten-free flour products available on the Latvian market;
2. to evaluate the nutritional information presented on the packaging of gluten-free flour products;
3. to evaluate the suitability of oat varieties and breeding lines grown in Latvia to gluten-free diet;
4. to analyse the quality of gluten-free flour by determining its physical and chemical indicators;
5. to develop new gluten-free flour products, using highly valuable raw materials.

Novelty and scientific significance of the Doctoral thesis.

- Gluten-free flour, flour mixtures and bread available in the Latvian market and information on nutritional value provided in the labelling has been analysed for the first time.
- Suitability of Latvian-grown oats varieties and breeding lines for gluten-free diet has been studied for the first time.
- Studies were conducted on contents of gluten in buckwheat, rice, maize, soy, amaranth, quinoa, peas and gram flour available in Latvia.
- Solutions have been reached for baking gluten-free bread (Patent of the Republic of Latvia No. 14224) and muffins.

The economic significance of the Doctoral thesis is the analysis of oat proteins from the point of view of gluten-free diet and solutions have been reached for production of innovative and safe gluten-free foodstuffs for people with coeliac disease.

APPROBATION OF THE RESEARCH

Results of the study have been summarised and published in chapters and sub-chapters of the monograph, scientific publications, two of which have been indexed in the databases internationally cited – SCOPUS and EBSCO, as well as one patent No. 14224 of the Republic of Latvia has been received.

Results of the study have been reported in 17 international scientific conferences and congresses in Latvia, Poland, Spain, Germany, France, Lithuania, Greece and Austria, four out of which were exhibitions – the international Euroscience Open Forum (ESOF), in Dublin and international food industry exhibitions „Riga Food 2010, Riga Food 2011, Riga Food 2014”, and *Conference of bread bakers 2012*.

Note: The maiden name of the author of the Doctoral thesis Laila Vilmane is Ozola (changed in 2014).

MATERIALS AND METHODS

Time and place of the study

Experiments have been carried out during the period from 2011 to 2015 at:

- the Faculty of Food Technology at the Latvia University of Agriculture, the Laboratory of Department of Food Technology (texture, intensity of colour, contents of moisture and protein, total phenols and antiradical activity, development and approbation of formulations);
- the laboratory of the Microbiology and Biotechnology Department of the Faculty of Biology of the University of Latvia (contents of gluten);
- at the State Stende Cereal Breeding Institute (contents of starch and fibre);
- at the Lithuanian University of Health Sciences, Institute of Animal Science (amino acids).

Materials used in the study

The gluten-free flour (buckwheat, rice, maize, soy, amaranth, quinoa, peas and gram), flour mixtures and bread purchased in supermarkets, pharmacies and specialised stores. Wheat and rye flour and wheat and rye bread were used as control samples.

Additional ingredients used in baking gluten-free bread and muffins: refined vegetable oil, dry yeast, sugar, golden syrup, fresh chicken eggs, apple cider vinegar, salt, butter, baking powder, vanilla sugar, milk, dry milk, drinking water, gluten substitute.

The strains of oats and selection lines grown and harvested in 2013 in the State Stende Cereal Breeding Institute (Table 1).

Structure of the research

The study was conducted in five stages (Figure 1), during which consumers' opinion on gluten-free products, their quality, buying habits, offer and nutritional value of gluten-free flour, flour blends and bread available in the market were analysed, oat proteins grown in Latvia were characterised from the point of view of gluten-free diet, physical and chemical indices of gluten-free flour were analysed, as well as new products were developed and their quality assessed.

Stage I – Consumer survey

In order to clarify the opinion and attitude of people with coeliac disease towards gluten-free products available in the market, consumers' habits and motivation to purchase those, the method of social research – survey – was applied. The survey included 16 questions.

The survey was performed twice: from December 2010 to July 2011 (PA2010) (*Ozola, Straumite, 2012*) and repeated from September 2013 to January 2014 (PA2013).

Stage II – Analysis of nutritional information of gluten-free products

Energy value and nutritional value provided in the labelling of gluten-free flour, flour blends and bread available in the Latvian market was analysed. 25 gluten-free flour, three flour blends and 16 samples of bread were purchased in supermarkets, pharmacies and specialised stores.

Stage III – Characterisation of oat proteins from the perspective of gluten-free diet

The study analyses the most commonly spread varieties and breeding lines of husked and hull-less oats (Table 1) to assess their suitability for gluten-free diet. Contents of proteins, amino acids and gluten were determined in the samples of oats.

Stage IV – Analysis of gluten-free flour

In the fourth stage of the study, physically and chemical indices of gluten-free flour were analysed: moisture content, colour, content of fibre, starch, proteins, gluten and total phenols and antiradical activity. Physically and chemical indices of gluten-free flour were compared with wheat and rye flour.

Stage V – Development and analysis of new products

Maize-amaranth bread – maize flour (sample KUM13), amaranth flour (sample AMM17) were used, 45%, 50% and 60% of the amount of maize flour provided in the recipe were replaced with soya flour (sample SM16).

Maize-gram bread – maize flour (sample KUM13), quinoa flour (sample KNM20) and gram flour (sample TZM24), as well as 10% and 15% of gluten substitute was used.

Gluten-free muffins – maize flour (sample KUM13), milk or dry milk, or water was used.

Parameters characterising quality of the obtained products were analysed along with contents of gluten and nutritional value was calculated.

Description of methods applied to the research

Determined indicators in the Doctoral thesis and applied methods of analyses have been summarised in Table 2.

Determination of gluten contents

Contents of gluten in flour were determined using R5 ELISA RIDASCREEN Gliadin kit (R-Bioparm AG, Germany) accepted as Codex Alimentarius method (Type 1) and approved as AOAC-OMA 2010.01 method.

RIDASCREEN Gliadin is a sandwich-type enzyme immunoassay applied to identify prolamines in wheat (gliadin), rye (secalin), barley (hordein) ingredients quantitatively, for example, in flour (buckwheat, rice, maize, oat etc.), species and ready-made products (bread, pasta, beverages etc.). Sensitivity of the method is 1.5 mg kg^{-1} of gliadin or 3 mg kg^{-1} of gluten and the limit of quantification is 2.5 mg kg^{-1} of gliadin or 5.0 mg kg^{-1} of gluten. Process of detection of gluten can be divided in four stages: preparation of samples, extraction, analyses, reading results (Figure 2) and calculation of gliadin (Formula 1) and gluten (Formula 2).

The mathematical processing of data

Mathematical processing of data was performed applying methods of mathematical statistics. Images and tables in the Doctoral theses were created and calculations made in MS Excel 2007, the principal component analysis (PCA) was conducted using MultiBase 2015 statistics software and hierarchical clusters' analyses was performed using SPSS 17.0 statistics software. The following indices were calculated for all obtained results: the average and standard deviation.

For interpretation of results it was assumed that $p=0.05$ with credibility of 95%. All values labelled with one and the same letter in graphs and tables do not differ significantly, if $p>0.05$. If necessary, first, the impact of interaction between two different factors is evaluated in data processing applying two-factor scheme of dispersion analysis (ANOVA).

Assessing interconnection of different feature, correlation analysis was applied. If the value of correlation value is $0.5 \leq |r| \leq 0.8$, the linear correlation between the features under research is average close. If $|r| > 0.8$, the linear correlation of features under research is close (*Arhipova, Bāliņa, 2003*).

RESULTS AND DISCUSSION

1. Analysis of results of consumers' survey

To study and analyse consumers' opinion and attitude towards gluten-free product quality and availability in the Latvian market as well as purchasing habits,

consumers' survey was conducted in 2010 (PA2010) and 2013 (PA2013). In PA2010 70.2% of respondents have been following gluten-free diet for more than 1 year, out of those 7.6% have been following it all their life. According to results of PA2013, 9.3% of respondents have been following gluten-free diet all their life, 73.3% have been following the diet for more than 1 year: 2 to 18 years, and 17.4% – up to 1 year. Majority of respondents have been following the gluten-free diet for three to four years, therefore they are well aware of the situation and products available in the market.

People with coeliac disease mainly buy gluten-free flour (20.1%), pasta (18.9%) and sweets (15.5%) in supermarkets and specialised shops, pharmacies and online shops. Comparing results of both surveys, in 2013 the respondents spent more on gluten-free products – 24.0% of respondents spend EUR 93–114 per month, 18.7% of respondents spend EUR 115–135 per month. Results of the PA2013 show that consumers are satisfied with the quality of flour (60.0%), flour blends (49.3%) and pasta (49.3%) that is mainly characterised as good, however, they are not satisfied with the quality of bread (25.3%), confectionery (37.3%) and sweets (46.7%) that is characterised as average. In the respondents' opinion, home-cooked food is tastier and more varied than that available at stores. However, respondents buy pasta and sweets as it is more complicated and time-consuming to prepare those at home. Small part of respondents (0.3%) do not buy anything at supermarket chains, as they are trying to reduce grain products in their diet, they are trying to increase amount of fresh vegetables, fruits, meat and fish consumed. Therefore this partly confirms the thesis that consumers are satisfied with the quality of the gluten-free flour and processed flour products available in the Latvian market.

Increase in offer of qualitative gluten-free products in stores and catering companies, education of society on coeliac disease and detailed labelling of products might improve the life quality and health of people suffering from coeliac disease. Respondents indicated that it is necessary to expand the offered assortment of gluten-free products. 28.0% of respondents would like cheaper products, 52.0% of respondents would like to buy products produced in Latvia.

2. Evaluation of nutritional information as found on the labels of gluten-free flour and bread

Gluten-free flour and flour blends

There are a lot of problems in producing gluten-free products, but only recently undivided attention has been turned to the nutritional value of the developed products, as there is a growing doubt in regard to the balance of nutritional components of the gluten-free diet. The previously done research (*Thompson et al.*, 2005; *Saturni et al.*, 2010; *Sequira, Rosell*, 2011) has shown that a non-balanced intake of carbohydrates, protein and fats, as well as a lack of fibre, vitamins and mineral substances are characteristic of the gluten-free diet.

This study analyses 25 samples of gluten-free flour, but the labelling of only 68% of the samples feature nutritional information. There was no nutritional information for buckwheat samples GM1 and GM2, soya samples SM16, amaranth samples

AMM17 and AMM18, quinoa samples KNM20 and KNM22, as well as the gram flour sample TZM25. It has been established that the samples without nutritional labelling are offered by various producers. The nutritional information found on the labels of gluten-free flour and flour blends currently available in Latvia is summarised in Figure 3.

The protein content of the analysed gluten-free samples varies from 5.9 (maize flour sample KUM11) to 37.3 g 100 g⁻¹ of the product (soya flour samples SM15), the carbohydrate content varies from 3.1 (soya flour samples SM15) to 79.9 g 100 g⁻¹ (rice flour sample RIM8), the fat content from 0.9 (rice flour sample RIM10) to 20.6 g 100 g⁻¹ (soya flour sample SM15). There is more protein and less fats and carbohydrates in soya flour (SM15) that has previously been heat treated in order to improve its quality and which can be used as a substitute for eggs. The biggest protein content is in gram flour (20.9–21.6 g 100 g⁻¹), and the biggest carbohydrate content in maize flour (77.5–78.0 g 100 g⁻¹), biggest fat content in quinoa flour (2.6–6.0 g 100 g⁻¹). The energy value is from 335 to 392 kcal 100 g⁻¹ and 1403 to 1662 kJ 100 g⁻¹.

By using the hierarchy cluster analysis, gluten-free flour and flour blends can be divided into four clusters. The first cluster includes buckwheat and quinoa flour with a high content of fats and an average content of protein; the second includes rice and maize flour and flour blends, with a high content of carbohydrates and a low level of protein; the third includes soya flour with a high content of fats and proteins, and the fourth includes gram flour with a high protein content. According to the food guidelines of the Ministry of Health of the Republic of Latvia and the association „Dzīve bez glutēna” (Life without Gluten), taking into account the results of this study, gram, soya, buckwheat and quinoa flours are the most suitable for people with coeliac disease, in terms of nutrition.

The EU Regulation No. 1169/2011 on providing food product information to consumers states that the mandatory nutritional information label must feature the energy level, the content of fats, saturated fatty acids, carbohydrates, sugar, protein and salt; indicating the fibre content is optional. That is why 41% of the producers have chosen not to feature the fibre content in the labelling of their product.

Figure 4 summarises information about the differences of the energy value (kcal) as featured on the labels of gluten-free flour and flour blends and recalculated. 5% is considered a significant error margin, which statistically is featured as the first one of importance.

The results of the research show that the energy value of flour blends has been indicated precisely: there is no significant difference between the calculated and indicated values ($p>0.05$).

Four of the gluten-free flour producers have more than one product on the market, „Doves Farm Food” gluten-free flour and flour blend samples GM5, RIM8, MM1, „BIG OZ” – GM6, RIM9), „Natco Foods” – KUM14, TZM24) and „Dr. Schär” – MM2, MM3). The products of each of these producers have similar tendencies in regard to the energy value differences featured on the label and recalculated. „Doves Farm Food”, „BIG OZ” and „Natco Foods” have higher

recalculated values than values in the label, but for „Dr. Schär” both indicators match.

35% of the analysed gluten-free samples feature an incorrect indication of their energy value, so it can be said that consumers are partly misled: the nutrients are featured correctly, but the energy value is indicated incorrectly. The significant differences can be explained by the fact that the calculations feature imprecise or erroneous recalculation coefficients.

Gluten-free bread

The Latvian market offers the gluten-free bread of three producers: „Dr. Schär”, „Schnitzer” and „Bezgluten”. The study analyses 16 samples of gluten-free bread, marked with the gluten-free symbol, a crossed-over ear of cereal, and featuring nutritional information.

Compared to the gluten-free flour samples (41.0%), only 18.8% of the labelling of gluten-free flour does not feature an indication of fibre content. Also the tendency that all samples are of a single producer, „Bezgluten” has been established. The EU Regulation No. 1169/2011 stipulates that the mandatory nutritional information label must indicate not only the content of nutrients and energy value, but also the salt content. This requirement is not fulfilled in 12.5% of the cases, even though salt is mentioned as an ingredient. This norm, too, is violated by the producer „Bezgluten”. Thus it can be concluded that featuring correct nutritional information on the packaging depends on the producer.

By using the hierarchy cluster analysis, gluten-free bread samples can be divided into three clusters according to the content of fats, carbohydrates, fibre, proteins and salt that is shown on their label (Figure 5).

The first cluster features the gluten-free bread samples BGM3, BGM5, BGM7, BGM11 and BGM12, to which a high level of fibre ($5.3\text{--}7.9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) and a low level of carbohydrate ($27.8\text{--}31.4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) content is characteristic. The third cluster features the samples BGM10, BGM14, BGM15 and BGM16 with a high content of carbohydrates ($47.5\text{--}59.1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) and a low content of proteins ($0.94\text{--}3.4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). The second cluster, in turn, is comprised of gluten-free bread samples (BGM1, BGM2, BGM4, BGM6, BGM8, BGM9, BGM13), the carbohydrate, fibre and protein content of which is indicated as such that is between the first and third cluster.

The energy value indicated on the label and recalculated matches in 81.3% of the cases, which is more, compared to gluten-free flour. Thus it can be concluded that the producers of bread are more responsible and do not mislead their consumers so often. In 12.5% of the cases the recalculated energy value is lower than that indicated on the label. A significant difference between the indicated and recalculated energy content in kilocalories was established for sample BGM5 (24.2%), thus making a significant error which misleads the consumer.

3. Characterisation of oat protein from the perspective of the gluten-free diet

Lately there is more and more talk among scientists about the suitability of oats to the gluten-free diet (*Dickey, 2008; Lester, 2008; Heap, van Heel, 2009; Pulido et al., 2009; Londono et al., 2013*). Oats are a good source of soluble fiber, essential amino acids, fatty acids, vitamins and mineral substances (*Jones, 2003*). Due to their high nutritional value, making oats a part of gluten-free diet would be a positive thing.

The protein content in oat samples varies from $11.05 \pm 0.21\%$ (husked oat variety ‘*Stendes Dārta*’) to $17.05 \pm 0.17\%$ (hull-less oat variety ‘*Stendes Emīlīja*’). The protein content of Latvian-grown oats is significantly ($p < 0.05$) affected by their genotype: husked or hull-less oats. The hull-less oats have been found to contain 1.2–6 times more protein than husked oats.

The highest total content of amino acids is found in the hull-less oat breeding line 30616 (sample A11) – 152.33 g kg^{-1} , but the lowest – in the sample of the husked oat variety ‘*Iwory*’ (A8) – 92.66 g kg^{-1} (Table 3). A significant difference ($p < 0.05$) in the total content of amino acids was established among samples of husked oats, in which the content of amino acids varied from 92.66 g kg^{-1} in sample A8 (variety ‘*Iwory*’) to 122.52 g kg^{-1} in sample A5 (variety ‘*Arta*’). All oat samples contain more non-essential than essential amino acids, the content of which varies 32.16 g kg^{-1} in sample A5 (husked oat variety ‘*Arta*’) to 48.52 g kg^{-1} in sample A9 (hull-less oat variety ‘*Stendes Emīlīja*’). The composition of amino acids in oats has been studied by various scientists who have determined differences between the content of amino acids in husked and hull-less oats (*Givens et al., 2004; Baker, 2007; Biel et al., 2009; Biel et al., 2014*). The total content of essential amino acids in hull-less oats is 12% higher than that in husked oats (*Biel et al., 2014*). This is also certified by the results of the research: the samples of hull-less oats A11 (breeding line 30616) feature 21.9% (sample A5) to 44.9% (sample A8) more essential amino acids than the husked oat samples. *Givens et al.* (2004) also informed about a significant difference ($p < 0.001$) in the composition of the amino acids of husked and hull-less oats.

Oat samples contain a lot of non-essential amino acids, such as glutamic acid (24.45 – 47.30 g kg^{-1}), aspartic acid (6.45 – 12.20 g kg^{-1}) and glycine (5.85 – 11.25 g kg^{-1}) and essential amino acids, such as leucine (7.55 – 10.66 g kg^{-1}), valine (5.05 – 7.52 g kg^{-1}) and isoleucine (3.73 – 5.65 g kg^{-1}) (Table 3). The obtained data is similar to that mentioned in the bibliography (*Georgieva, Zorovski, 2013; Biel et al., 2014*).

Wheat prolamine is characterized by high contents of glutamine / glutamic acid (both amino acids are closely connected chemically) and proline and by low contents of leucine and alanine. Amino acid peptide sequences especially rich in proline and glutamine / glutamic acid produce autoimmune enteropathy. Those peptides are found in wheat gliadin, rye secalins, barley hordeins, and, in much lower amount, oat avenins (*Sollid, 2000; Guilbert et al., 2002; Ramakrishnan et al., 2004; Wieser, 2004*). The proline (Pro) content in the analysed Latvian-grown oat samples varies from

4.40 (husked oat variety ‘Laima’ – A3) to 9.31 g kg⁻¹ (hull-less oat breeding line 30616 – A11), which is approximately twice as little as the proline content established by *Guilbert et al.* (2002) in wheat gliadine 14–17 g kg⁻¹. In turn, according to *Wieser* (2004), wheat gluten contains 37 g kg⁻¹ of glutamine / glutamic acid, 17 g kg⁻¹ of proline, 7 g kg⁻¹ of leucine and 3 g kg⁻¹ alanine. The content of leucine (7.55–10.66 g kg⁻¹) and alanine (3.63–6.74 g kg⁻¹) in Latvian-grown oat samples is higher, compared to wheat gliadin. Hull-less oat varieties and breeding lines have a higher content of alanine and leucine, compared to husked oat varieties.

The gluten content in oats varies from 103.83±0.56 mg kg⁻¹ (husked oat variety ‘Laima’ sample A3) to 469.37±2.76 mg kg⁻¹ (hull-less oat variety ‘Stendes Emīlīja’ sample A) (Figure 6). Hull-less oat varieties have a 2.5–4.5 times higher gluten content, compared to husked oat varieties. Thus it can also be concluded that the gluten content in oats is significantly affected ($p<0.05$) by genotype (husked or hull-less) and the variety.

In 81.8% of the analysed oat samples the gluten content significantly ($p<0.05$) exceeds the permitted gluten level, which is 100 mg kg⁻¹, thus rendering these oat samples non-suitable to a gluten-free diet. *Hernando et al.* (2008) analysed the gluten content in 109 various oat samples (oat flakes, oat flour, oat bran, oat cereal, etc.) and the obtained results showed that in 25% of the oat samples the gluten content is < 3 mg kg⁻¹, in 4% it varies from 3 to 20 mg kg⁻¹, in 12% it varies from 20 to 200 mg kg⁻¹ and in 59% of the analysed samples the gluten content exceeded 200 mg kg⁻¹. The results of the research prove that only a small part of oat products can be included in the gluten-free diet (*Hernando et al.*, 2008).

In oat samples with a higher content of gluten also a higher content of proline (4.96–9.31 g kg⁻¹) and glutamic acid (24.45–47.30 g kg⁻¹) has been found, compared to the other 18.2% of oat samples (Pro 4.40–4.65 g kg⁻¹, Glu 24.60–27.35 g kg⁻¹) (Table 4), for which the gluten content does not deviate significantly ($p>0.05$) from the permitted level. In the husked oat varieties ‘Laima’ and ‘Iwory’ the gluten content is 103.83±0.56 mg kg⁻¹ and 107.36±0.61 mg kg⁻¹, respectively. The results of the research show that the Latvian-grown oat varieties ‘Laima’ and ‘Iwory’ contained close to the permitted amount of gluten (100 mg kg⁻¹). Thus separate gluten intolerant people, depending on the degree of their coeliac disease, may choose to include oat products made from the husked oat varieties ‘Laima’ and ‘Iwory’ in their diet. Breeders, in turn, might adapt these varieties to people with coeliac disease, if they work with these varieties. This would allow people that need low-gluten products in their daily lives, as well as producers, to use Latvian-grown grains. Because none of the analysed oat samples contained less than 100 mg kg⁻¹ of gluten, they were not used in the following research and development of new products.

4. Analysis of gluten-free flour

The respondents of the consumer survey expressed the opinion that the selection of gluten-free products needs to be added to and diversified, because the products available on the market have a monotonous taste and the selection and diversity of these products is insufficient. The ingredients of the gluten-free products available in

commercial shops are the same or very similar. Quality ingredients are a key element to a high-quality product, so they need to be evaluated.

The moisture of gluten-free flour is an important indicator of quality, directly connected to the processes that take place while the flour is being stored. In the analysed gluten-free flour types the moisture content varies from $7.23\pm0.03\%$ in soya flour, sample SM6, to $13.45\pm0.08\%$ in the buckwheat flour sample GM6. There is a significant difference in the moisture content of soya flour and other samples of flour. A low level of moisture has been found in soya flour ($7.23\pm0.03\%$ and $9.72\pm0.04\%$) and gram flour ($10.09\pm0.01\%$ and $10.63\pm0.12\%$) samples. There is no significant variation between moisture content in the rice flour samples ($p>0.05$), and it is in the range from $12.56\pm0.05\%$ to $12.83\pm0.07\%$, which is more than results of research done by other scientists show – $9.09\text{--}10.5\%$ (*Ibianoglu et al., 2006; Torbica et al., 2010*). There are significant differences ($p<0.05$) between the moisture level of the other analysed gluten-free flour samples, even in the same kind of cereal. The moisture differences can be explained so that the samples were purchased in different commercial spaces and they have had different storage conditions.

The first thing consumers evaluate when choosing a food product is its **colour**, one of the most important characteristics, which is often also connected with the notion of quality. A product's colour depends on the colour of its ingredients and various reactions that take place during the production (*Fernandez-Vazquez et al., 2013*).

The type of cereal and flour sample significantly affect ($p<0.05$) the value L^* , a^* and b^* of the colour component. Value L^* of the gluten-free colour component, characterising the light and dark colour nuances of the samples, varies from 67.87 ± 0.88 (sample SM15) to 94.58 ± 0.43 (sample RIM10). There are no significant differences ($p>0.05$) in the value of the colour component L^* between the two analysed samples of amaranth flour (80.79 ± 0.48 and 80.11 ± 0.32) and the three samples of gram flour (89.94 ± 0.46 – 91.63 ± 0.40). The two-dimensional picture characterises the dispersion of colour and gives an idea of the product's colour. Figure 7 represents values a^* and b^* of the gluten-free flour colour component in a two-dimensional coordinate system.

Based on the dispersion of samples in the coordinate system, the analysed gluten-free flour has five colours, which is further confirmed by the hierarchy cluster analysis:

1. pronouncedly yellow (maize flour samples KUM12, KUM13 and KUM14);
2. light yellow (maize flour sample KUM11, all samples of soya, pea and gram flour);
3. slightly greyish white (all samples of rice and quinoa, as well as the buckwheat samples GM2, GM5 and GM6);
4. cream (all samples of amaranth flour);
5. light brown (samples of quinoa flour, KNM21 and KNM22, as well as buckwheat flour samples GM2 and GM4).

Biologically active compounds

The fibre content in the analysed flour samples varies greatly ($p<0.05$) (Figure 8). The lowest fibre content has been found in wheat (type 405), buckwheat, rice and maize flour: from 0.14 ± 0.01 g 100 g^{-1} (KVM26), 0.34 ± 0.01 g 100 g^{-1} (maize flour sample KUM13) to 1.89 ± 0.01 g 100 g^{-1} (rice flour sample RIM8).

In accordance with the EU Regulation No. 1924/2006 regarding indications of the nutritional value and healthiness on food products, the products which can be called sources of fibre (a minimum of 3 g of fibre in 100 g of product) are samples of amaranth flour (4.26 and 4.05 g 100 g^{-1}), gram flour sample TZM25 (3.56 g 100 g^{-1}), quinoa flour sample KNM21 (3.52 g 100 g^{-1}) and rye flour (5.15 g 100 g^{-1}). There is a lot of fibre (a minimum of 6 g fibre per 100 g of the product) in soya flour (7.04 and 8.25 g 100 g^{-1}) and quinoa flour sample KNM22 (8.79 ± 0.01 g 100 g^{-1}). To obtain new gluten-free products that have sufficient fibre content, pseudocereals, such as amaranth, quinoa and legumes, such as soya and peas, are recommended.

The quality and texture of gluten-free flour products is determined by the starch present in them, because their protein does not have the same baking properties as wheat flour does. The starch content in the flour samples is significantly affected ($p<0.05$) by the type of cereal (Figure 9). The lowest starch content was found in soya flour $6.46\pm0.08\%$ (sample SM15), but the highest – in maize flour $79.12\pm0.32\%$ (sample KUM13). Compared to other analysed products, rice (from 69.03 ± 0.51 to $74.14\pm0.20\%$) and maize flour (from 71.27 ± 0.13 to $79.12\pm0.32\%$) have a high starch content, which does not differ significantly ($p>0.05$) from the starch content in wheat flour ($74.24\pm0.10\%$). In soya flour the starch content is 10 times less than in other studied flour samples, which matches the starch content in soya, 4.66–7.00%, established by *Banaszkiewicz* (2011). Characterising the ingredients by the starch content in them, all analysed products can be used for developing new products.

The protein content in the analysed flour samples varies very greatly and it is significantly ($p<0.05$) affected by the type of cereal (Figure 10). The highest protein content has been found in soya flour samples, $36.01\pm0.09\%$ (SM15) and $33.19\pm0.03\%$ (SM16). The lowest protein content is in maize and rice flour, $5.81\pm0.01\%$ (maize flour sample KUM14) to $8.51\pm0.01\%$ (rice flour sample RIM7). In accordance with the EU Regulation No. 1924/2006 regarding nutrition and health claims made on foods, the products which can be claimed sources of protein (a minimum of 12 g of protein in 100 g of product) are pseudocereals and legumes flour sample. The protein content of wheat flour is surpassed by soya (65%), amaranth (17%), quinoa (3.5%) and gram flour (43%), which can be explained by the biological and botanical differences of the cereals.

The total content of phenols (TCP) in gluten-free flour varies from 31.22 mg GAE 100 g^{-1} in the rice flour sample RIM10 to 952.06 mg GAE 100 g^{-1} in the buckwheat sample GM5, and is significantly ($p<0.05$) affected by the type of flour. In her research about the effect that variety has on the total antioxidative activity and activity of phenols between various varieties of buckwheat, amaranth and quinoa, *Vollmannova et al.* (2013) found out that there are significant differences

in the total antiradical activity and the total content of phenols between varieties of one of the same cereal. This also proves the results obtained in this research, that the total content of phenols and antiradical activity varies between various kinds of gluten-free flour. Comparing the total content of phenol and **antiradical activity (ARA)** in gluten-free flour, it was found out that there is a close positive correlation ($r=0.92$) between the two: the higher the total content of phenols, the higher the antiradical activity (Figure 11). These results confirm that the total content of phenols in flour is closely related to the antiradical activity of flour.

In order to characterise the correlation between the content of fibre, starch, protein and total content of phenols in gluten-free flour samples, the principal components analysis has been performed (Figure 12).

Evaluating the data of the principal component analysis, it can be concluded that both factors explain 65.4% (PC1) and 25.7% (PC2) of the variants found within the data. Samples that are located next to each other have similar characteristics. The PC1 component model shows the correlation of fibre and the total content of phenols, but PC2 represents the correlation between starch and protein content. On the right or positive side of component one (PC1) there are samples with a high content of protein (from 12.71% in the quinoa flour sample KNM21 to 21.52% in the gram flour sample TZM25) and an average content of starch (from 52.12% in the gram flour sample TZM25 to 59.29% in the amaranth flour sample AMM17), whereas the left or negative side of PC1 features samples with a high content of starch (61.82% in the quinoa flour sample KNM19 to 79.12% in the maize flour sample KUM13) and a low protein content (from 5.81% in the maize flour sample KUM14 to 12.05% in the quinoa flour sample KNM19). The positive side of the second component (PC2) features samples with an average or high content of fibre and low content of total phenols, whereas the negative side of PC2 features samples with a low content of fibre and a high content of total phenols.

Soya flour stands out from the rest, which can be explained with the fact that the indicated parameters in the samples significantly ($p<0.05$) differ from the other analysed gluten-free flour samples. Pseudocereals (amaranth, quinoa and buckwheat) and legumes (soya and gram) are suitable for the development of new products, as they have a high content of fibre, total phenols and protein, and an average content of starch.

The **gluten content** in the flour determines its suitability to a gluten-free diet. The aim of this study was to find out if a person with coeliac disease who buys flour, considered to be gluten-free (rice, buckwheat, maize, etc.), at the shop, can be sure that the gluten content in the flour is at the minimum/ permitted level. According to the EC Regulation No. 41/2009 concerning the composition and labelling of foodstuffs suitable for people intolerant to gluten, a product can be considered gluten-free, if its gluten content is up 20 mg kg^{-1} . If the total level of gluten in the product does not exceed 100 mg kg^{-1} , the product can be considered very low gluten.

The gluten-free flour available on the Latvian market can be divided into three groups, according to their gluten content (Table 4):

1st group: flour considered to be gluten-free, but not marked as such (buckwheat, rice, maize);

2nd group: flour the labelling of which indicates it as gluten-free, but is not marked accordingly (the crossed grain symbol) and no certification number has been provided;

3rd group: flour that is marked accordingly (the crossed grain symbol and a certification number).

The gluten content in the studied gluten-free samples varies from $14.95 \pm 0.08 \text{ mg kg}^{-1}$ (quinoa flour sample KNM19) to $254.51 \pm 0.16 \text{ mg kg}^{-1}$ (gram flour sample ZM23). In the first group, 28.5% of the flour samples exceed the permitted limit of 100 mg kg^{-1} , and it cannot be considered gluten-free, and they are not safe for people with coeliac disease. The increased gluten content in the flour might be explained by the fact that during grinding they have been contaminated with other cereals, such as wheat, rye or triticale. When choosing flour from the first group, attention must be paid to the producer and the possible risks must be evaluated by each coeliac patient her-/himself, depending on the severity of their disease. In 42.8% of the first group samples the gluten content varies from 51 to 100 mg kg^{-1} , i.e., they have very low gluten content.

In the second group of flour the gluten content varies from 17.25 mg kg^{-1} (rice flour sample RIM7) to 42.40 mg kg^{-1} (buckwheat flour sample GM3), and this is within the permitted limit, so people with coeliac disease may surely use it. The results of the study confirm that producers respect their responsibilities: if the labelling indicated the product is gluten-free, the consumer can believe these markings.

In the third group there is flour with a gluten content varying from $14.95 \pm 0.08 \text{ mg kg}^{-1}$ (KNM19) to $24.64 \pm 0.02 \text{ mg kg}^{-1}$ (RIM9). This means these kind of flour are produced separately from other production lines, which ensures that the products not be contaminated with gluten, and the consumer may be sure of the product. Thus it can be concluded that it is possible to produce food completely safe to patients of coeliac disease, if it is produced in specially designed premises and the producer has undergone the necessary certification. Evaluating by gluten content, samples from the second and third group are recommended for the development of new products.

5. Development and analysis of new products

The gluten-free bread available on the market is often characterised by low quality, non-pronounced porosity and colour, an unpleasant aftertaste, it also has low nutritional value, and hardens easily. Taking into account the previously accumulated experience and studies performed by other scientist, work has been done for the development of new, high-quality gluten-free products, rich in nutrients.

Gluten-free bread

The basis for the development of new recipes is the maize bread, made with extruded flour, developed during previous reserach by the author (*Ozola et al., 2011*;

Ozola et al., 2012). In order to diversify the selection of bread, improve its quality and enhance its nutritional value, rice and extruded maize flour has been taken out of the flour blend used for making bread during previous research, and substituted with amaranth and quinoa flour. Two flour blends have been obtained in the development process, both suitable for baking gluten-free bread:

In the first flour blend, rice and extruded maize flour has been substituted with amaranth flour (53% of the total amount of maize flour), which did not significantly affect the quality of the gluten-free bread, compared to maize bread with extruded flour. The recipe for the maizeamaranth bread is shown in Table 5.

After an analysis of the scientific literature, it can be concluded that several methods can be used to improve the quality of gluten-free products. One of such methods is adding protein or isolated protein (*Gallagher et al.*, 2003; *Marco, Rosell*, 2008; *Crockett et al.*, 2011). By using soya flour, the porosity of the bread becomes more homogenous, the volume of the bread increases and its texture improves, and the shelf-life can be extended (*Sim, Tam*, 2001; *Curic et al.*, 2007).

In order to improve the quality of the bread and assess the impact of soya flour on the maizeamaranth bread, soya flour in the amount of 5 to 75% from the total volume of maize flour was added to each sample. The results of the research showed that the optimum added amount of soya flour is 45–60% of the maize flour.

In the second flour blend, made using the previously developed maize bread with extruded flour recipe, the rice and extruded maize flour was substituted with quinoa (40% of the total amount of maize flour) and gram flour (60% of the total maize flour), as a result of which a recipe for a maize-gram flour bread was obtained (Table 5). One of the solutions that can be used in order to improve the quality of gluten-free bread, is to create flour blends by adding corn- or potato starch to them (*Abdel-Aal*, 2009; *Onyango et al.*, 2011); the extra starch binds water better, makes the crumb of the bread softer and adds an even porosity to the bread. Also, to ensure the functions usually filled by gluten, xanthan and guar gum is used (*Anton, Artfield*, 2008; *Peressini et al.*, 2011). To evaluate making gluten-free bread from the perspective of consumers, a gluten substitute available on the Latvian market has been used in preparing the bread. In essence, it is a flour blend with guar gum. Each bread sample has been added 5 to 50% of gluten substitute for the total amount of flour. The results of the research show that the optimum amount of gluten substitute is 10–15% of the total volume of flour (Table 5).

Colour is an important characteristic of food products, and it is closely related to the texture and aroma of the product, as well as with consumer choice (*Esteller, Lannes*, 2008). Table 6 summarises the variation in the maizeamaranth bread samples due to changes in the amount of added soya flour, but in the maize-gram bread samples – due to changes in the amount of added gluten substitute. The results show that soya flour and gluten substitute have a significant effect ($p<0.05$) on the colour components of the bread crumb.

The colour of the crumb for the maizeamaranth samples with soya flour is light yellow ($L^*=61.16\text{--}62.68$; $a^*=-2.05\text{--}-3.07$; $b^*=29.59\text{--}31.56$). Compared to sample S0DY1, the bread samples with soya flour are a lighter yellow, the value of the

colour L* decreases (from 63.64 ± 0.70 to 61.16 ± 0.76) and the value of b* decreases as well (from 34.24 ± 0.66 to 29.59 ± 0.50). By increasing the proportion of soya flour in the recipe, the amount of maize flour used proportionally decreases, so the bread crumb is not as yellow anymore.

For samples S5DY1 and S5DY2 the difference in colour of the bread crumb, compared to sample S0DY1 is obvious ($2 < \Delta E < 3.5$). In turn, the rest of the maize-amaranth bread samples with soya flour, when compared with sample S0DY1, show a distinct colour difference which can be seen, because $3.5 < \Delta E < 5$.

There is a significant difference ($p < 0.05$) in the value of bread crumb colour component b* in the maize-amaranth and maize-gram breads. In the maize-gram samples it is 1.5–2 times as high, which can be explained by the characteristically yellow colour of maize and gram flour as well as eggs added to the recipe. The bread crumb of the maize-gram is distinctly yellow in colour ($L^* = 68.30 - 70.74$; $a^* = -4.51 - -4.78$; $b^* = 30.84 - 35.98$), which is ensured by the typically yellow colour of maize and gram flour. By adding the gluten substitute ($L^* = 85.68$, $a^* = -1.10$, $b^* = 11.93$) to the bread samples, the value of component L* in the bread samples increases, and the value of component b* decreases. The difference of colour between the maize-gram bread sample G0DY2 and samples G1DY2 ($\Delta E = 4.97$) and G2DY2 ($\Delta E = 5.35$) is distinct and obvious ($3.5 < \Delta E < 5$) (Table 6).

The quality of bread is characterised by texture, elasticity, porosity and colour of the crumb and crust of the bread. The hardness of the maize-amaranth bread crumb varies from 2.41 ± 0.60 N in sample S6DY2 to 10.94 ± 0.63 N in sample S5DY1, whereas for the maize-gram bread it varies from 6.47 ± 0.82 N (G2DY1) to 13.15 ± 0.62 N in sample G0DY2. The flour used in the preparation of the bread, as well as the added amount of soya flour, gluten substitute and water significantly affects ($p < 0.05$) the hardness of bread crumb. The research results prove that gluten-free bread samples made with soya flour and dough yield 252 are 2.5–4.5 times softer than samples with dough yield 196.

The results of a previous study regarding the effect of soya flour to the rheological characteristics of gluten-free dough show that the bread sample with dough yield 196 (the dough sample has a thick consistency) is markedly firmer and more elastic than the dough sample with dough yield 252 (the dough sample has a thin consistency). The results of this research show that adding soya flour to a maize-amaranth blend, the bread crumb becomes softer, if the dough yield is 252. An elastic and firm gluten-free bread, just like bread samples with dough yield 196 have, accounts for a dense crumb, which indicates that in order for gluten-free bread to have sufficient volume and good characteristics of the crumb, the dough must be of thin or runny consistency, so more water needs to be added to it. Also Irish scientists, who concluded that gluten-free dough must be thinner than wheat dough, have arrived at the same conclusion (*Hager et al., 2012*).

The maize-gram bread, however, presents other tendencies. The maize-gram bread sample G0DY2 is 1.5–2.0 times harder than samples G1DY2 and G2DY1, and 3.0–4.5 times harder than the maize-amaranth bread samples with dough yield 252,

which is the same for G0DY2. The significant difference in hardness of maize-gram and maize-amaranth breads with dough yield 252 can be explained by the characteristics of the flour used for baking. The quality of the maize-gram flour is improved by adding the gluten substitute and the crumb of the bread becomes more firm. The hardness of the bread is closely related to the volume of the bread and the size, volume and set of pores in the crumb, all ensured in the baking process by the CO₂ gas, formed during the fermentation process. Regardless of the fact that the hardness of the maize-gram bread crumb is similar to that found in the maize-amaranth samples with the dough yield 196, the volume of both breads (Figure 13 a–c, h–j) significantly differs. All maize-amaranth bread samples with the dough yield 196 (Fig. 13 a–c), compared to the maize-amaranth bread samples with dough yield 252 (Fig. 13 d–g) and the maize-gram bread samples (Fig. 13 h–j) have a small volume of bread, a firm crumb of the bread with small and irregularly sized pores, and an uneven porosity. The maize-amaranth bread sample S0DY1 has sufficient volume and even porosity. The pores are of equal size, with thin walls and next to each other, so they are arranged in a network (Fig. 13 g). The volume of the maize-amaranth bread with dough yield 252 is similar to sample S0DY1, with big, irregular pores (Fig. 13 d–f), which ensure a soft crumb. Comparing the maize-amaranth bread samples with dough yield 252 with S4DY2 and S6DY2 (Fig. 13 d and f), the volume of the bread is similar, but the volume of S5DY2 (Fig. 13 e) is smaller than that of both other maize-amaranth bread samples with dough yield 252.

The maize-gram bread samples (Fig. 13 h–j) have a sufficient volume of bread with an even porosity, which has no significant difference from the maize-amaranth bread sample S0DY1 (Fig. 13 g). Comparing the volume of all bread samples, the largest volume is that of the maize-gram bread sample G1DY2. As the amount of gluten substitute increases in sample G2DY2, the volume of the bread, compared with that of sample G1DY2, decreases.

It is important not only to develop new gluten-free products, but also to assess their gluten content. The gluten content of the developed bread samples varies from $68.54 \pm 0.42 \text{ mg kg}^{-1}$ in the maize-gram bread sample G1DY2 to $84.26 \pm 0.51 \text{ mg kg}^{-1}$ in the maize-amaranth bread sample S6DY2. Even though flour with a low gluten content has been used in making the products (18.86 mg kg^{-1} in the maize flour KUM13 and 35.31 mg kg^{-1} in the gram flour sample TZM24), the gluten content in the bread has increased, but still does not exceed 100 mg kg^{-1} . The results can be explained by the fact that experiments were done in the premises where wheat and rye flour is handled, and there might occur contamination with gluten.

Gluten-free muffins

Confectionery is an integral part of both everyday and celebration menu. Muffins are one of the confectionery products, the formulation of which includes flour, milk, baking powder, eggs and additional ingredients that give muffins their flavour and improves its taste (Table 7).

The aim of the study is to analyse the impact of various liquids on the quality of muffins. Substituting milk with dry milk (a mixture of milk and water) or with water without affecting the quality of gluten-free muffins is an important task. It will facilitate the production process, because using and storing dry milk powder is simpler than that of milk. Moreover, if water is used instead of milk, also coeliac patients with lactose intolerance would be able to consume them.

The results show that the kind of liquid used for preparing the muffins has no significant effect ($p>0.05$) on the height and volume of gluten-free muffins. The tallest height, 31.83 mm, was fixed on a muffin with milk (MP), but the lowest, 28.70 mm, on a muffin with water (MU). According to the results, muffins with milk are 1.88% softer than muffins made with a mix of milk and water (MPU) and 5.17% softer than muffins made with water (MU). The firmness of the muffin is closely connected with the porous structure of the crumb. Muffins with milk have large pores in their crumb (Figure 14 a), so it is softer than other samples, whereas the pores of muffins made with a mixture of milk and water or just water are homogenous, tight and evenly spread throughout the crumb of the muffin (Figure 14 b–c). There is no significant difference ($p>0.05$) in the hardness of muffins with milk and those made with the milk-water mixture, which shows that milk can be substituted with a dry milk powder in the production process.

The liquid used in the making of muffins significantly ($p<0.05$) affects the colour components L^* and b^* in the crust of all kinds of muffins. The darkest colour of the crumb ($L^*=40.74\pm1.18$) is that of the muffin with milk (MP), whereas the lightest ($L^*=50.88\pm1.48$) is that of the muffin with water (MU). The colour component b^* characterises the spectre of yellow colour, which is increased for the muffin with a mix of water and milk (MPU) and muffin with water (MU) compared to the muffin with milk (MP), so also their yellow colour is more intense. The differences in the colour of the crust of the samples can be explained by the fact that by adding milk, also extra sugar, lactose, is added, which takes part in the Maillard reaction and the sugar caramellisation process, thus ensuring the brown colour of the muffin crust (Cross, 2004). There is no significant difference ($p>0.05$) between the muffin crumb colour component L^* , a^* and b^* values amongst all three kinds of muffins. Thus it can be concluded that the type of liquid used ($p<0.05$) affects the colour of muffin crust, but does not affect the colour of the muffin crumb ($p>0.05$).

The differences in the colour of the muffin crust can be seen with the naked eye ($\Delta E>5$), the colours range from a distinctly brown to light brown or very light yellow (Table 8). The biggest difference in colour is $\Delta E=14.64$, which has been established between the muffin with milk (MP), the crust of which is dark brown, and the muffin with a mix of milk and water (MPU), which is light yellow. The colour difference $\Delta E=0.98$ of the crumbs of muffin with milk (MP) and muffin with a mix of milk and water (MPU) is not visible to the human eye. The colour difference $\Delta E=1.67$ between the crumbs of samples MP and MU is only visible to a trained specialist. The colour of the crumb is very similar for all three kinds of muffins, so it can be concluded that the added type of liquid does not affect the colour of the crumb.

The lowest gluten content (47.28 ± 0.42 mg kg⁻¹) has been found in the sample made with water (MU), and the highest in the muffin with milk (MP), 53.19 ± 0.51 mg kg⁻¹. Compared to the developed gluten-free bread samples, the gluten-free muffins have a lower gluten content, which can be explained by the fact that the muffins were not baked in a laboratory where gluten contamination is possible.

Analysis of the nutritional value of the new products

The nutritional value of the products developed as part of this study has been calculated using the nutritional information provided by the supplier of ingredients or producer (Table 9).

The gluten-free bread available on the Latvian market contains:

- fats 2.3–7.3 g 100 g⁻¹;
- carbohydrates 28.2–52.0 g 100 g⁻¹;
- fibre 3.0–7.4 g 100 g⁻¹;
- proteins 0.9–8.9 g 100 g⁻¹;
- salt 0.8–1.3 g 100 g⁻¹;
- energy value 207–282 kcal, 845–1236 kJ.

The fat content of the bread samples developed as part of the study varies from 7.1 g 100 g⁻¹ (sample G2DY2) to 11.5 g 100 g⁻¹ (sample S6DY1), which is higher than that of the bread available commercially, which can be explained with the high fat content of soya flour.

There is no significant difference between the fibre content of the developed bread samples (no 4.2 g 100 g⁻¹ in sample S0DY1 to 6.4 g 100 g⁻¹ in sample G1DY2) and the bread available commercially. The developed gluten-free bread samples have a lower content of carbohydrates (from 18.8 g 100 g⁻¹ in sample S6DY2 to 33.2 g 100 g⁻¹ in sample G2DY2) and salt (0.7–0.8 g 100 g⁻¹), compared to the products available on the market. The gluten-free flour which is part of the maize-gram flour blend has a high starch content, and one of the main components of the gluten substitute is cornstarch, so the starch content of the maize-gram bread is higher than that of the maize-amaranth bread.

The protein content of the developed gluten-free bread varies between 6.3 g 100 g⁻¹ in sample S0DY1 and 11.3 g 100 g⁻¹ in sample S6DY1, which is approximately twice as high as that of the gluten-free bread available commercially. The maize-amaranth bread contains more protein, because its recipe contains soya flour, which is an excellent source of protein.

If an adult has two slices of bread (weighing a total of 60 g) per meal, they will have received 6.2–7.2% of the daily energy value. Even though the developed gluten-free bread contains more fat, the energy volume percentage an adult receives with this bread has no significant difference from that of the gluten-free bread already available commercially.

A high fat and protein content and very low fibre content are typical characteristics of gluten-free muffins, just like other confectionary products.

CONCLUSIONS

1. Consumers of gluten-free products are satisfied with the quality of flour (60.0%), flour blends (49.3%) and pasta (49.3%), but they are not satisfied with the quality of bread (25.3%), confectionery (37.3%) and sweets (46.7%).
2. Gluten-free flour and flour blends can be divided into four clusters, based on the nutritional information on their labels: the first cluster includes buckwheat and quinoa flour with a high fat content and an average protein content; the second includes rice and maize flour and flour blends with a high content of carbohydrates and a low protein content; the third includes soya flour with a high content of proteins and fats, and the fourth includes gram flour with a high protein content.
3. Incorrect or erroneous coefficients are being 35% of gluten-free flour products and 6% of gluten-free bread products show a significant discrepancy ($p<0.05$) between the energy value indicated on the label and the recalculated value. In the analysed flour blends, the energy value has been indicated correctly in 100% of the cases.
4. Gluten-free bread is characterised by high carbohydrate content ($28.2\text{--}52.0\text{ g }100\text{ g}^{-1}$) and low protein ($0.9\text{--}8.9\text{ g }100\text{ g}^{-1}$) content.
5. The gluten content in Latvian-grown oats varies from 103.83 mg kg^{-1} in the husked oat variety ‘Laima’ to 469.37 mg kg^{-1} in the hull-less oat variety ‘Stendes Emīlīja’. The gluten content exceeds 100 mg kg^{-1} , so Latvian-grown husked and hull-less oat varieties and breeding lines are not suitable for a gluten-free diet.
6. The physical and chemical indicators of gluten-free flour differ significantly ($p<0.05$) between various types of cereals and their level of grind.
7. 16% of the analysed gluten-free flour does not contain (up to 20 mg kg^{-1}) gluten, but 68% have very low gluten content (up to 100 mg kg^{-1}).
8. The hardness, porosity and colour of gluten-free bread is significantly ($p<0.05$) affected by the added amount of soya flour and gluten substitute. The quality of muffins does not change significantly ($p>0.05$) by the added type of liquid: both water and milk can be used.
9. The developed gluten-free bread has a higher content of protein ($6.3\text{--}11.3\text{ g }100\text{ g}^{-1}$) and fats ($7.1\text{--}11.5\text{ g }100\text{ g}^{-1}$), but a lower content of carbohydrates ($18.8\text{--}33.2\text{ g }100\text{ g}^{-1}$) and salt ($0.7\text{--}0.8\text{ g }100\text{ g}^{-1}$), compared with the bread available on the market.
10. The data obtained in the research confirm the proposed hypothesis: innovative and safe gluten-free products can be obtained by choosing particular cereals and pseudocereals and their combinations.

PROPOSALS

1. When consumers choose buckwheat-, rice-, amaranth-, quinoa-, gram and other flours that are not marked accordingly for their gluten-free diet, they must take into account the possible risk that the gluten content may be higher than the permitted limit, 100 mg kg^{-1} .
2. The Latvian-grown oat varieties ‘Laima’ and ‘Iwory’ have a gluten content that is close to the permitted norm (100 mg kg^{-1}). Due to that, separate people with a gluten intolerance, depending on the severity of their coeliac disease, can choose to include oat products made from the husked oat varieties ‘Laima’ and ‘Iwory’ in their menu.
3. It is recommended to use pseudocereal (amaranth, quinoa) and legume (soya, peas) flour in the development of new products, because they are rich in fibre, starch, protein and total phenols.
4. Latvian breeders should work with the husked oat varieties ‘Laima’ and ‘Iwory’ in the future, to adapt them to the diet of people with coeliac disease.

PATEICĪBAS

Promocijas darba autore izsaka vislielāko pateicību promocijas darba zinātniskajai vadītājai vadošajai pētnieci Evitai Straumītei, kas ieinteresēja mani zinātniskajā darbībā un aizrāva ar ideju par bezglutēna produktu izpēti. Paldies par ticību, atbalstu, neatlaidību, uzmundrinājumu, palīdzību un veltīto laiku celā uz doktora grādu pārtikas zinātnē.

Liels paldies Latvijas Lauksaimniecības universitātes Pārtikas tehnoloģijas fakultātes dekānei profesorei Ingai Ciprovičai, Pārtikas tehnoloģijas katedras vadītājai, profesorei Dainai Kārkliņa, profesorei Rutai Galoburdai un asociētajai profesorei Tatjanai Rakčejevai, vadošajām pētniecēm Zandai Krūmai un Īrisai Mūrniecei, Lolitai Tomsonei un Mārtiņam Šabovicam par sniegtajiem padomiem, ierosinājumiem, atbalstu un palīdzību promocijas darba izstrādē.

Paldies Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes lektoram Mārim Lazdiņam par atsaucību, padomiem un iespēju realizēt ieceri par glutēna noteikšanu produktos.

Izsaku pateicību saviem kolēgiem Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtā, īpaši Sanitai Zutei un Lindai Brunavai, par iespēju padziļinātī pētīt auzas un glutēna saturu tajās.

Paldies manai ģimenei, draugiem un kolēgiem Rīgas Tūrisma un radošās industrijas tehnikumā par ticību, pacietību, sapratni un morālo atbalstu. Vissirsnīgākais paldies manam vīram Valērijam par sapratni, morālu atbalstu, izturību un aizrautību, ar kuru ļāvās tikt pietuvināts zinātnei. Paldies maniem vecākiem, kas ieaudzināja manī neatlaidību, gara spēku un atbildības izjūtu.



Laila Vilmane

Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Pārtikas tehnoloģijas fakultāte

Latvia University of Agriculture

Faculty of Food Technology

lailaozola@inbox.lv