

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Latvia University of Life Sciences and Technologies

Pārtikas tehnoloģijas fakultāte
Faculty of Food technology



Mg. sc. ing. Daiga Konrāde

DĀRZEŅU UN AUGĻU BLAKUSPRODUKTI EKSTRUDEĒTU PRODUKTU IZSTRĀDĒ
VEGETABLE AND FRUIT BY-PRODUCTS FOR DEVELOPMENT OF EXTRUDED PRODUCTS

Promocijas darba KOPSAVILKUMS

Dr.sc.ing., zinātniskā grāda iegūšanai

SUMMARY
of the Doctoral thesis for the scientific degree of Dr. sc.ing.

Jelgava
2019

Promocijas darba vadītāja/
Scientific supervisor:

Asoc. prof., Dr. sc. ing. **Dace Kļava**

Oficiālie recenzenti/ *Official reviewers:*

Dr.chem. **Ida Jākobsone** (Asociētā profesore, Latvijas Universitāte, Ķīmijas fakultāte, Organiskās ķīmijas katedra/ *Associate professor, University of Latvia, Faculty of Chemistry, Department of Organic Chemistry*)

Dr.habil. sc.ing., **Imants-Atis Skrupskis** (Profesors Emeritus, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Pārtikas tehnoloģijas fakultāte, Uztura katedra, *Professor Emeritus, Latvia University of Life sciences and technologies, Faculty of Food Technology, Department of Nutrition and Household*)

Dr.sc. ing. **Dalija Segliņa** (Vadošā pētniece, Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvijas Dārzkopības institūts/ *Senior expert, Latvia University of Life sciences and technologies, Institute of Horticulture*)

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2019. gada 29. augustā plkst. 10.00 Pārtikas tehnoloģijas fakultātē, 216. auditorijā, Rīgas ielā 22, Jelgavā.

The defense of dissertation is an open session of the Promotion Board of the Food Science of Latvia University of Life Sciences and Technologies will be held on August 29, 2019, at 10.00 a.m. in auditorium 216 at the Faculty of Food Technology, 22 Rigas Street, Jelgava.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā ielā 2, Jelgava, LV-3001 un internetā (pieejams: http://llufb.llu.lv/promoc_darbi_en.html). Atsauksmes sūtīt Pārtikas zinātnes nozares promocijas padomes sekretērei, LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes asoc. prof, Dr.sc.ing. **I. Beitānei**, Rīgas iela 22, Jelgava, LV-3004, e-pasts: ilze.beitane@llu.lv.

*The dissertation is available at the Fundamental Library of Latvia University of Life sciences and Technologies, 2 Liela Street, Jelgava, LV-3001, and on the internet (http://llufb.llu.lv/promoc_darbi_en.html). References should be send to Dr.sc.ing. **I. Beitane**, the Secretary of the promotion Board of Food Science at the Faculty of Food Technology, Latvia University of Life sciences and Technologies, 22 Rīgas Street, Jelgava, LV-3004, e-mail: ilze.beitane@llu.lv.*

DOI: 10.22616/lluthesis/2019.007

SATURS

SATURS	3
PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE	4
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA.....	6
MATERIĀLI UN METODEDES	7
Pētījumā izmantoto produktu un izejvielu raksturojums	7
Pētījumos izmantoto analīžu metožu raksturojums/ <i>Methods of analysis used for research</i>	11
Datu matemātiskā apstrāde	12
REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	12
Blakusproduktu kvalitatīvie rādītāji	12
Ekstrūzija ar vienas vītnes ekstrudieri.....	20
Eksperimenta trešais posms	24
SECINĀJUMI.....	40
<i>ACTUALITY OF RESEARCH</i>	41
<i>APPROBATION OF SCIENTIFIC WORK</i>	42
<i>MATERIALS AND METHODS</i>	42
Characteristics of the products and raw materials used in the study.....	42
Structure of the study.....	42
Methods used in the study.....	42
Mathematical processing of data.....	43
<i>RESULTS AND DISCUSSION</i>	43
Qualitative indicators of by-products	43
Extrusion with single screw	46
Extrusion with twin screw extruder	46
CONCLUSIONS.....	54
Bibliogrāfija/ <i>Bibliography</i>	55

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Pārtikas zuduma un pārtikas atkritumu samazināšanas jautājums piesaista arvien lielāku sabiedrības daļas uzmanību. Milzīgs pārtikas blakusproduktu daudzums rodas ražošanas un pārstrādes posmā, kas sastāda 1.3 miljardu tonnu pārtikas jeb 1.6 miljardu tonnu "primāro produktu ekvivalentu" (Bagherzadeh, Inamura, & Jeong, 2014).

Dārzeņu un augļu pārstrādes rūpniecībā rodas blakusprodukti, piemēram, mizas, biežumi, serdes, kaceņi un sēklas. Blakusproduktus tālāk izmanto kā dzīvnieku barību, biogāzes ieguvei, vai arī tie netiek izmantoti vispār (Turon et al., 2018).

ES pārtikas drošības politikas galvenais mērķis ir aizsargāt cilvēku un dzīvnieku veselību, un, sadarbībā ar dalībvalstīm un ieinteresētajām personām, tiek meklētas visas iespējas, lai novērstu pārtikas ražošanā radušos blakusproduktu izšķiešanu un stiprinātu pārtikas sistēmas ilgtspēju.¹

Mainoties patērētāju ēšanas paradumiem, pārtikas ražotājiem, izejvielu pārstrādātājiem jākoncentrējas uz pārtikas ražošanu, kas būtu gan veselīga un viegli pieejama un izmantojama, tai būtu patīkams izskats un, protams, ar labām garšas īpašībām. Arvien vairāk patērētāju ikdienā pievērš uzmanību veselīgiem, uzturvielām bagātiem pārtikas produktiem.

Dārzeņu un augļu ražošanas blakusprodukti joprojām satur bioloģiski vērtīgas vielas, piemēram, diētiskās šķiedrvielas, vitamīnus, karotīnus, antioksidantus, organiskās skābes, mikro un makroelementus, kuriem ir nozīmīga loma cilvēka veselībai.

Straujais dzīves ritms maina ēšanas paradumus, cilvēki bieži ēd dodoties ceļā uz darbu, kafijas pauzēs, kā arī tradicionālos pārtikas produktus - graudaugu putras vai maizi -, aizvieto ar tā sauktajiem *snacks* (uzkodām, kas ražotas no graudiem ar dažādām piedevām (žāvētiem augļiem, riekstiem, sēkliņu maisījumiem, u.c.). Tas ir ātrs un viegls risinājums, lai steigā uzņemtu daļu no nepieciešamajām kalorijām, uzturvielām, vitamīniem, šķiedrvielām un minerālvielām. Viena no veselīga uztura pamatnostādņēm ir, ka pārtikai jā satur veselībai vērtīgas bioloģiski aktīvas vielas.

Pētnieki un uztura speciālisti meklē veidus, kā izmantot dažādas izcelsmes izejvielas jaunu produktu ražošanā un radīt funkcionālus produktus.

Par pārtikas produktiem ar funkcionālām īpašībām pieņem tādus, kas ir bagāti ar antioksidantiem, minerālvielām, piemēram, kalciju, magniju, ar mono un polinepiesātinātajām (omega) taukskābēm, jo īpaši linolēnskābi, probiotikām, šķiedrvielām (β -glikānu), vitamīniem (īpaši E vitamīnu).

Mūsdienās arvien straujāk pieaug interese par produktiem, kas ne tikai ir veselīgi, labi garšo un cenas ziņā atbilst plašam patērētāju lokam, bet arī satur uzturvielas, kas var nodrošināt patērētāja nepieciešamo dienas normu. Viens no šāda veida produktiem ir ekstrudēti graudaugu produkti, piemēram, sausmaizītes, galetes, uz kodu batoniņi.

Augstas temperatūras, īsa laika ekstrūzijas tehnoloģija (*HTST* - *High temperature, short time*, angl.) ir kļuvusi populāra, sagatavojot uz kodas un brokastu pārslas, izmantojot cieti saturošus pamatproduktus.

Ekstrūzija varētu būt konkurētspējīga un ilgtspējīga metode, kā augu blakusproduktus pievienot graudus saturošām izejvielām, lai izveidotu inovatīvus, ar uzturvielām bagātus pārtikas produktus.

Promocijas darba hipotēze: Izmantojot dārzeņu un augļu blakusproduktus, iespējams palielināt bioloģiski aktīvo savienojumu saturu ekstrudētos produktos.

Pētījuma objekts: ābolu, burkānu un ķirbju blakusprodukti, ekstrudēti rudzu un auzu produkti, kuru sastāvā iekļauti kaltēti ābolu, burkānu un ķirbju blakusprodukti.

¹Pieejams vietnē: (https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/stop_en).¹, skatīts

²Pieejams vietnē <http://dx.doi.org/10.1787/5js4w29cf0f7-en>, Parry, A., P. Bleazard and K. Okawa (2015), "Preventing Food Waste: Case Studies of Japan and the United Kingdom", *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, No. 76, *OECD Publishing*, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5js4w29cf0f7-en>, skatīts 08.02.2019.

³Pieejams vietnē <http://dx.doi.org/10.1787/5jxrcmftzj36-en>, skatīts 12.03.2019.

Promocijas darba mērķis: Pētīt kaltētu ābolu, burkānu un ķirbju pārstrādes rezultātā radušos blakusproduktu izmantošanu jaunu ekstrudētu produktu ražošanā.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **uzdevumi:**

1. analizēt kaltētu ābolu, burkānu, ķirbju blakusproduktu fizikālos un mikrobioloģiskos rādītājus, bioloģiski aktīvo vielu saturu un sensorās īpašības;
2. noteikt ekstrūzijas veidu un iespējamo pievienojamo blakusprodukta daudzumu ekstrudējamajiem paraugiem no rudzu un auzu miltiem;
3. veikt produktu ekstrūziju;
4. analizēt jauno produktu ar pievienotajiem ābolu, burkānu un ķirbju blakusproduktiem kvalitatīvos rādītājus:
 - novērtēt ekstrudēto produktu ar ābolu, burkānu un ķirbju blakusproduktiem sensorās īpašības;
 - analizēt fizikāli-ķīmiskos rādītājus;
 - analizēt bioloģiski aktīvo vielu saturu ekstrudētajos produktos.

Novitāte un zinātniskais nozīmīgums:

1. Pirmo reizi Latvijā veikti pētījumi par dārzeņu un augļu blakusproduktu izmantošanu ekstrūzijā;
2. Pētījuma rezultātā noteikti ekstrūzijas procesa tehnoloģiskie parametri, izmantojot dārzeņu un augļu blakusproduktus, to ietekme uz gatavā produkta kvalitāti;
3. Promocijas darbā ietvertie pētījuma rezultāti pierāda kopējo fenolu saturu, antiradikālās aktivitātes palielināšanos ekstrudētajos produktos.

Darba tautsaimnieciskā nozīme.

1. Rasts risinājums, kā izmantot ābolu, burkānu, un ķirbju blakusproduktus ražošanā ar ekstrūzijas metodi, paaugstinot bioloģiski aktīvo vielu saturu ekstrudētos graudaugu produktos un ievērojami samazinot izejvielu zudumus dārzeņu un augļu pārstrādē.
2. Izstrādāti inovatīvi ekstrudēti produkti Latvijas mērogā, apvienojot graudaugus un dārzeņu/ augļu pārstrādes blakusproduktus, kas pārbaudīti rūpnieciskās ražošanas apstākļos.
3. Ekstrudētiem graudaugu produktiem, pievienojot dārzeņu/ augļu blakusproduktus, palielinātos produktu klāsts ar paaugstinātu bioloģiski aktīvo vielu saturu.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti un publicēti recenzējamos un zinātniskos izdevumos, kas indeksēti starptautiskās datubāzēs *SCOPUS*.

1. **Konrade D.**, Lidums I., Klava D., Ence E., Kirse-Ozolina A. (2019) Investigation of extruded cereals enriched with plant byproducts and their use in fermented beverage production. *Agronomy Research*, 2019
2. **Konrade D.**, Klava D (2018). Rye and oat crispbread improvement with biologically active substances from plant by – products. *Proceedings of Conference: 24th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2018"*. Jelgava, Latvia 16 - 18 May 2018
3. **Konrade D.**, Klava D., Gramatina I. (2017) Cereal crispbread improvement with dietary fibre from apple by-products. *Proceedings of Conference: CBU International Conference on Innovations in Science and Education (CBUIC)*, 1143–1148.
4. **Konrade D.**, Klava D, Gramatina I., Kampuse S., Kince T. (2017). Crispbread improvement with carrot and pumpkin by products. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*, Vol. 72 (2018), No. 2 (713), pp. 91–96.
5. **Konrade D.**, Klava D. (2017) Total Content of Phenolics and Antioxidant Activity in Crispbreads with Plant By-product addition. *Rural sustainability research*, 38(333), 2017ISSN – 2256-0939

Par pētījuma rezultātiem ziņots 8 starptautiskās zinātniskajās konferenēs Latvijā, Lietuvā, Čehijā, Šveicē, Igaunijā:

1. **Konrade D.**, Lidums I., Klava D., Ence E., Kirse-Ozolina A.(2019) Investigation of extruded cereals enriched with plant by-products, *Biosystems Engineering 2019 Estonian University of Life SciencesTartu, Estonia 8-10 May 2019*, (stenda referāts/ *poster presentation*).
2. **Konrade D.**, Klava D. (2018) Improvement of rye and oat crispbreads with biologically active substances from plant by products. 24th Annual International Scientific Conference "Research for Rural Development 2018". Jelgava, Latvia 16 - 18 May 2018(referāts/ *oral presentation*).
3. **Konrade D.**, Klava D, Sabovics M., Kince T. (2017) Production of functional foods from vegetable by-products with extrusion technologies. 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Jelgava, Latvia,May 24.-26 (referāts/ *oral presentation*).
4. **Konrade D.**, Klava D., Kruma Z. (2017) Plant by-products as source of functional ingredients for production of crispbreads. 11th Baltic Conference on Food Science and Technology "FOODBALT 2017". Jelgava, Latvia, April 27-28(stenda referāts/ *poster presentation*).
5. **Konrade D.**, Klava D., Gramatina I. (2017) Cereal crispbread improvement with dietary fibre from apple by-products. Conference: CBU International Conference on Innovations in Science and Education (CBUIC). Prague, Czech Republic March 22-24 (referāts/ *oral presentation*).
6. **Konrade D.**, Klava, I. Gramatina, S. Kampuse, T. Kince. (2016) Crispbread improvement with carrot and pumpkin by-products. 2nd International Conference “Nutrition and Health”, Riga, Latvia October 5-7 (referāts/ *oral presentation*).
7. Klava D., Radenkovs V., **Konrade D.**, Kampuse S, Rakcejeva T., Litvinova J.(2015) The structural properties of puffed breakfast cereals with plant based fibre additives. Structure. 7th International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2015 Zurich, Switzerland June, 7 – 11 (stenda referāts/ *poster presentation*).

8. **Konrade D., Klava D.**(2015). New extruded product development from plant by-products. 10th Baltic Conference on Food Science and Technology “Future Food: Innovations, Science and Technology” FoodBalt – 2015 Kaunas University of Technology Department of Food Science and Technology, Kaunas, Lithuania, May 21-22. (referāts/ oral presentation).

MATERIĀLI UN METODEDES

Pētījums tika veikts laika posmā no 2014. līdz 2018. gadam. Produktu izstrāde un analīzes veiktas Latvijas Lauksaimniecības universitātes Pārtikas tehnoloģijas fakultātē.

- Pārtikas tehnoloģijas katedras Maizes ražošanas laboratorijā veikta produktu eksperimentālā ekstrūzija.
 - Zinātniskajā laboratorijā noteikti produktu fizikāli- ķīmiskie rādītāji.
 - Mikrobioloģijas zinātniskajā laboratorijā noteikti produktu mikrobioloģiskie rādītāji.
 - Sensoro analīžu laboratorijā noteiktas eksperimentālo produktu sensorās īpašības.
- SIA “Milzu” veikta ekstrudēto produktu izstrāde.

Starptautiskajā izstāžu centrā Ķīpsala, Starptautiskās pārtikas izstādes “Riga Food” laikā 2017. gadā veikta patērētāju aptauja.

Pētījumā izmantoto produktu un izejvielu raksturojums

1. tabulā attēloti izmantotie materiāli pētījuma veikšanai.

1. tabula/Table 1

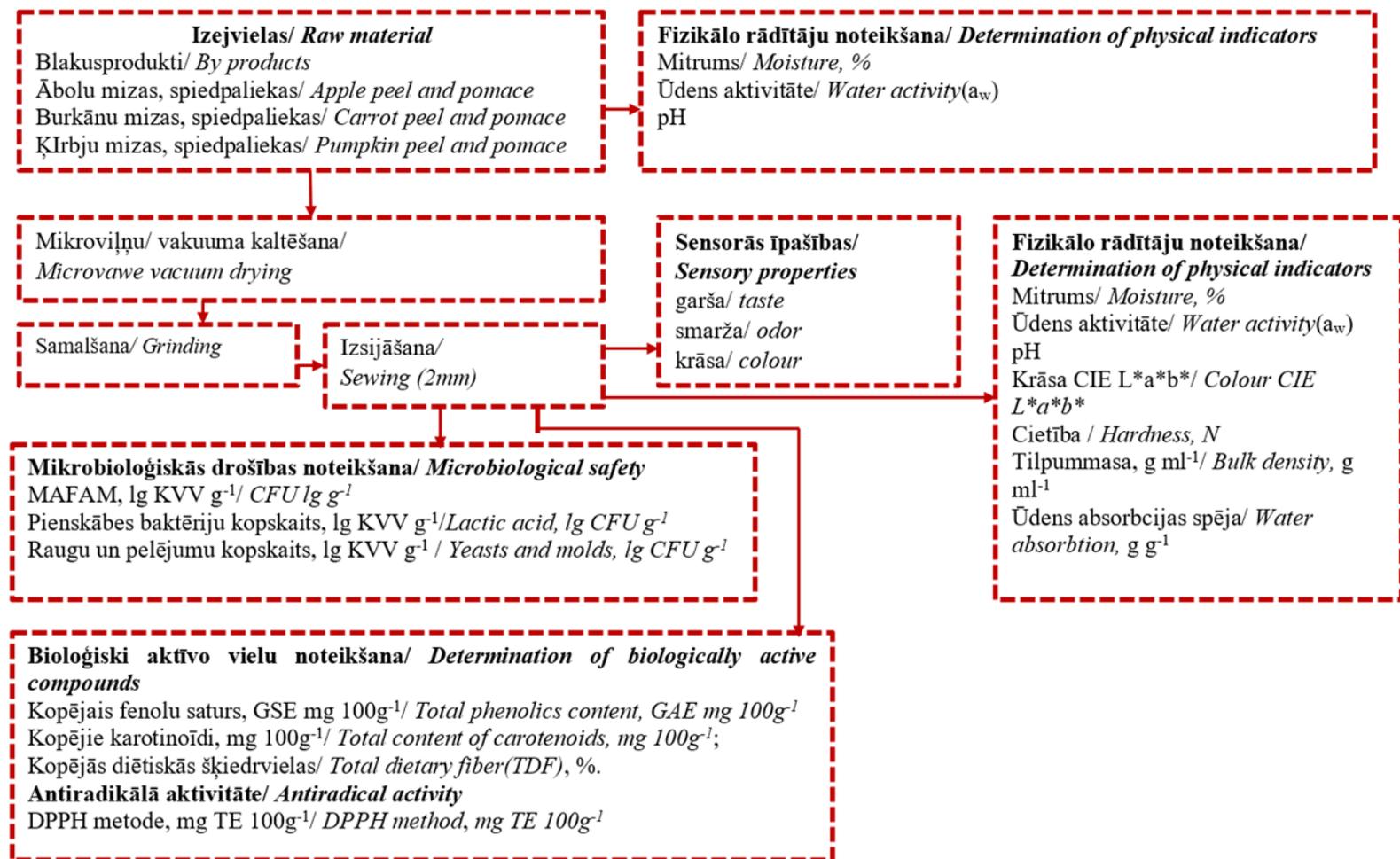
Izejvielas un produkti pētījumā/ Raw materials for experiments

Izejviela/ <i>Raw material</i>	Ražotājs vai izplatītājs/ <i>Manufacturer or distributor</i>
<i>Ābolu blakusprodukti/ Apple by-products</i>	
Ābolu spiedpaliekas un mizas no dažādu šķirņu āboliem/ <i>Apple pomace and peel from different cultivars</i>	SIA „Vairāk Saules”/ <i>Ltd „Vairāk Saules”</i>
<i>Burkānu blakusprodukti/ Carrot by-products</i>	
Burkānu mizas/ <i>Carrot peel</i>	SIA „TERROSK”/ <i>Ltd „TERROSK”</i> ,
Burkānu spiedpaliekas/ <i>Carrot pomace</i>	SIA „Vairāk Saules”/ <i>Ltd „Vairāk Saules”</i>
<i>Ķirbju blakusprodukti/ Pumpkin by-products</i>	
Ķirbju mizas/ <i>Pumpkin peel</i>	SIA “Rūdolfs”/ <i>Ltd Rudolfs</i>
Ķirbju spiedpaliekas/ <i>Pumpkin pomace</i>	SIA „Vairāk Saules”/ <i>Ltd „Vairāk Saules”</i>
Auzu (<i>Avena sativa L.</i>) milti/ <i>Oat (Avena sativa L.) flour</i>	AS „Rīgas Dzirnāvnieks”/ <i>Ltd „Rīgas Dzirnāvnieks”</i>
Rudzu sijāti (bīdelētie) milti, 700 tips/ <i>Rye flour, Type 700</i>	AS „Rīgas Dzirnāvnieks”/ <i>Ltd „Rīgas Dzirnāvnieks”</i>

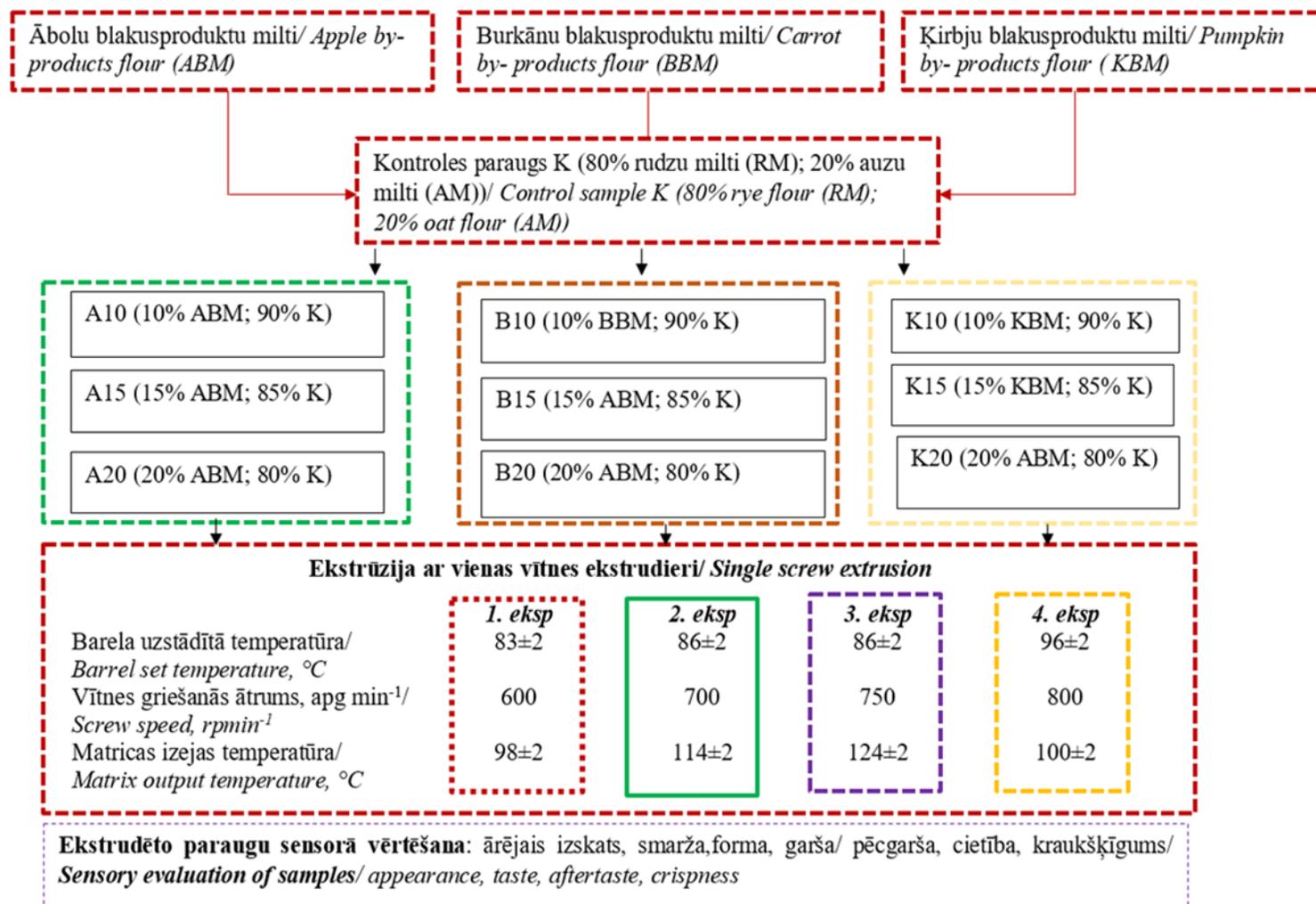
Izejvielas no pārtikas ražotājiem saņemtas pēc uzņēmumā izstrādātās HACCP un paškontroles sistēmas, attiecīgi uzglabājot pārtikas produktiem atbilstošā iepakojumā un temperatūrā.

Pētījuma posmi attēloti 1., 2. un 3. attēlā.

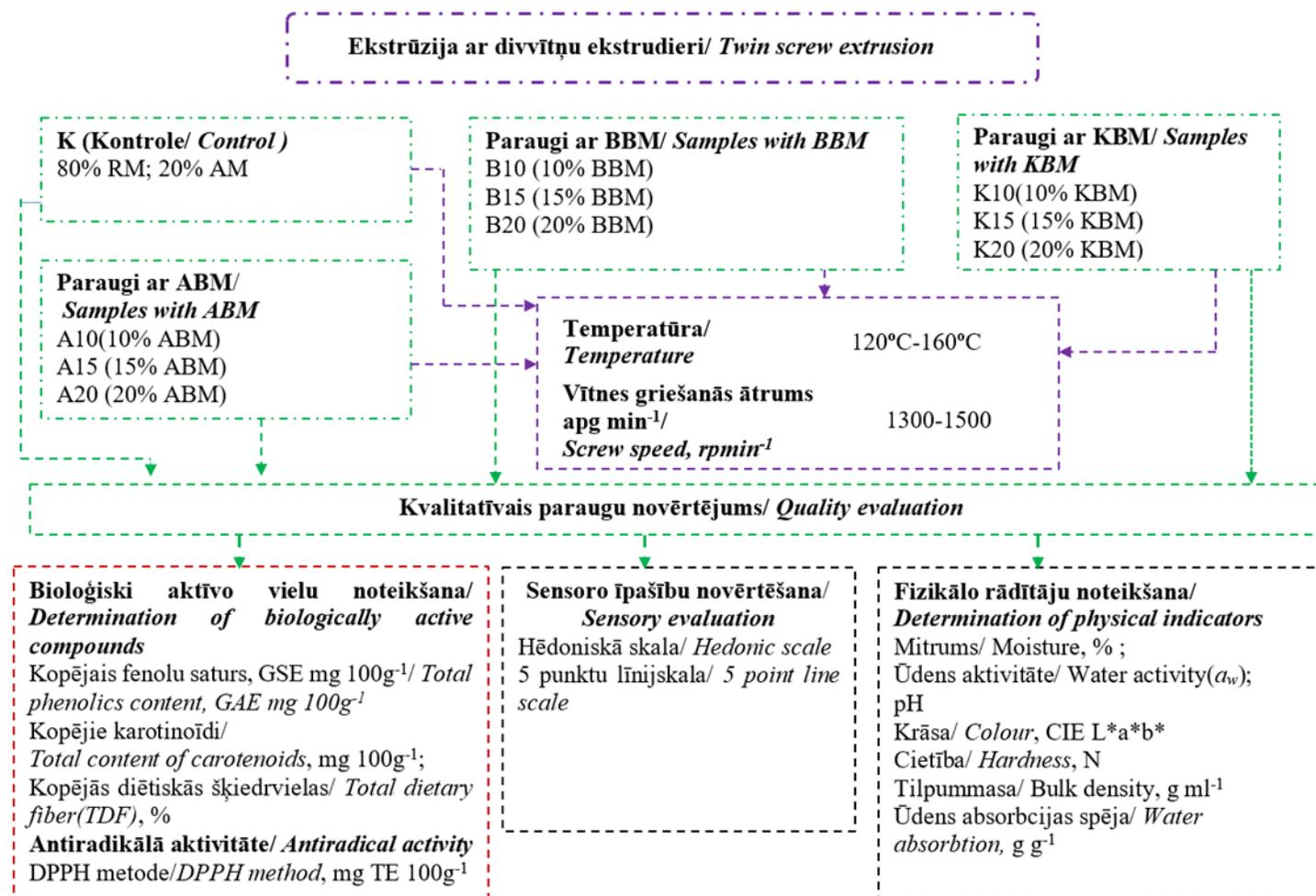
Pētījumā izmantotās analīžu metodes un to raksturojums apkopoti 2. tabulā.



1. att. Pētījuma 1. posma shēma/
Fig. 1. Structure of the 1st stage of research



2. att. Pētījuma 2. posma shēma/
 Fig. 2. Structure of the 2nd stage of research



3. att./ **Pētījuma 3. posma shēma/**
Fig.3. Structure of the 3rd stage of research

**Pētījumos izmantoto analīžu metožu raksturojums/
Methods of analysis used for research**

2. tabula/ Table 2

**Analīžu metodes/
Methods of analysis**

Nr./ N	Rādītāji/ Indices	Standarts, metode/ Standard, method
Fizikālās analīzes un metodes/ Physical analyses and methods		
1.	pH vērtība ^c / <i>pH value</i>	AACC 02-52
2.	Mitrums: % ^a / <i>Moisture %^a</i>	LVS EN ISO 712:2010 A
3.	Ūdens aktivitāte ^b / <i>Water activity^b</i>	ISO 21807:2004
4.	Ūdens absorbcijas noteikšana, g g ^{-1a} / <i>Water absorption, g g^{-1a}</i>	Centrifugēšanas metode/ <i>Centrifugation method</i> AACC method 56-20 (AACC, 1995; Altan, Mccarthy, & Maskan, 2008)
5.	Cietība ^c / <i>Hardness^c</i>	Metode/ <i>Method</i> AACC No. 74-09.01,
6.	Tilpummasa ^a / <i>Bulk density, g ml^{-1 a}</i>	Gravimetrija/ <i>Gravimetry</i> (Altan et al., 2008); Varsha & Mohan, 2016)
7.	Krāsas komponenti L* a* b ^b / <i>Colour components L* a* b^b</i>	ISO 11664-4: 2011
Sensorā novērtēšana/ Sensory evaluation		
8.	Sakārtošanas tests/ <i>Ranking test</i>	ISO 8587: 2006
9.	5 punktu Līniskala/ <i>5 points Line scale</i>	ISO4121:2003
10.	9 punktu Hēdoniskā skala ^d / <i>9 points Hedonic scale^d</i>	ISO 1136:2014
Bioloģiski aktīvo savienojumu satura noteikšana/ Determination of biologically active compounds		
11.	Kopējās diētiskās šķiedrvielas ^c , TDF, g 100g ⁻¹ / <i>Total dietary fibre^c, TDF, g 100g⁻¹</i>	Metode/ <i>Method</i> , AOAC –AACC No.985.29 -1986 FOSS Analytical Fibertec E 1023
12.	Kopējie fenoli ^a (KFS), mg GSE g ⁻¹ / <i>Total phenolics(TPC)^a, mg GAE g⁻¹</i>	Spektrofotometriskā metode/ <i>Spectrophotometric method</i> , (Singleton et al., 1999)
13.	Kopējie karotinoīdi ^a , mg 100 g ⁻¹ / <i>Total content of carotenoids, mg 100 g⁻¹</i>	Spektrofotometriskā metode/ <i>Spectrophotometric method</i>
Antiradikālā aktivitāte/ Antiradical activity		
14.	Antiradikālā aktivitāte ^a (DPPH metode), mmol TEg ⁻¹ /Antiradical activity (DPPH method ^a), mg TEg ⁻¹	Spektrofotometriskā metode/ <i>Spectrophotometric method</i>

Nr./ N	Rādītāji/ Indices	Standarts, metode/ Standard, method
Mikrobioloģiskās analīzes un metodes/ Microbiological analysis and methods		
15.	MAFAM (Mezofili aerobo un fakultatīvi anaerobo mikroorganismu kopskaits) lg KVV g ⁻¹ / <i>Total aerobic colony plate count, lg CFU g⁻¹</i>	LVS EN ISO 4833:2003
16.	Raugu un pelējumu koloniju veidojošo vienību skaita noteikšana lg KVV g ⁻¹ / <i>Yeast and mould, lg CFU g⁻¹</i>	LVS ISO 21527-2:2008
17.	Pienskābes baktērijas lg KVV g ⁻¹ / <i>Lactic acid, lg CFU g⁻¹</i>	ISO 9332:2003

^a -atkārtojumu skaits (n=3)/ *the number of repetitions (n=3)*

^b - atkārtojumu skaits (n=5)/ *the number of repetitions (n=5)*

^c - atkārtojumu skaits (n=10)/ *the number of repetitions (n=10)*

^d - atkārtojumu skaits (n=35)/ *the number of repetitions (n=35)*

Datu matemātiskā apstrāde

Datu matemātiskā analīze veikta, izmantojot MS Excel funkciju Data Analysis, ANOVA, vienfaktora korelācijas analīzes.

Izvirzītās hipotēzes pārbaudītas ar p-vērtības metodi, un faktori novērtēti kā būtiski, ja $p < \alpha = 0.05$. Rezultātu interpretācijai pieņemts, ka $\alpha = 0.05$ ar 95% ticamību, ja nav norādīts citādi.

Izvērtējot dažādu pazīmju savstarpējo kopsakarību, izmanto korelācijas un regresijas analīzi. Ja korelācijas koeficienta vērtība ir $0.5 \leq |r| \leq 0.8$, starp pētāmajām pazīmēm ir vidēji cieša lineārā sakarība. Ja $|r| > 0.8$, tad starp pētāmajām pazīmēm ir cieša lineārā sakarība (Arhipova un Bāliņa, 2003).

Dispersijas analīzē rezultātu atšķirību pamatošanai starp pētāmajiem paraugiem izmantots Tjūkija un Frīdmana tests. Visiem iegūtajiem rezultātiem aprēķināti vidējais aritmētiskais un standartnovirze, lai norādītu rezultātu izkliedi.

REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Blakusproduktu kvalitatīvie rādītāji

Mitrums, ūdens aktivitāte

Svaigu augļu un dārzeņu blakusproduktu lielais mitruma daudzums (78.9-88.5%) ierobežo to ilgstošu uzglabāšanu un izmantošanu kā izejvielu citu produktu ražošanā, kā arī blakusprodukti ir laba vide raugiem un pelējumiem, ko nosaka arī ūdens aktivitāte, kas raksturo ūdens pieejamību bioloģisko procesu norisei.

Blakusproduktu kaltēšana tika veikta ar mikroviļņu vakuuma kalti Muson 1, izmantoti kaltēšanas tehnoloģiskie parametri vakuuma mikroviļņu kaltē: spiediens (70–50 mmHg), rotācijas ātrums $v = 6$ apgmin⁻¹, viens darba cikls un trīs posmi.

Blakusproduktu mitrums pirms kaltēšanas bija $78.9 \pm 2.0\%$ ābolu blakusproduktos, $82.4 \pm 0.8\%$ burkānu blakusproduktos, $85.5 \pm 1.2\%$ ķirbju blakusproduktos.

Mitruma saturs pēc kaltēšanas ar mikroviļņu- vakuuma kalti ābolu blakusproduktos sasniedza $5.36 \pm 0.01\%$, burkānu blakusproduktos $3.27 \pm 0.02\%$, ķirbju blakusproduktos $6.14 \pm 0.02\%$. Mitruma saturs rudzu miltiem bija $6.29 \pm 0.02\%$ un auzu miltiem $9.86 \pm 0.02\%$. Mitruma saturs blakusproduktos ir būtiski samazināts ($p = 0.01$). Blakusproduktu kaltēšanas laikā novēroja būtisku mitruma samazināšanos ($P < 0.05$), līdz pat 17-20 reizēm.

Mitrums un ūdens aktivitāte blakusproduktos pirms un pēc kaltēšanas atspoguļoti 3. tabulā.

**Mitruma saturs ābolu, burkānu un ķirbju blakusproduktos/
Moisture content of apple, carrot and pumpkin by-products**

Blakusprodukts/ By-product	Mitrumš pirms kaltēšanas/ Moisture before drying, %	Mitrumš pēc kaltēšanas/ Moisture after drying, %
Ābolu blakusprodukti/ Apple by-products	78.9±2.0	5.36±0.01
Burkānu blakusprodukti/ Carrot by-products	82.4±0.8	3.27±0.02
Ķirbju blakusprodukti/ Pumpkin by-products	85.5±1.2	6.14±0.02

Ūdens aktivitāte pēc kaltēšanas sasniedza 0.42±0.01 ābolu blakusproduktiem, 0.35±0.01 burkānu blakusproduktiem, 0.51±0.01 ķirbju blakusproduktiem.

Lai raksturotu mikroorganismiem izmantošanai pieejamā ūdens stāvokli pārtikas produktos un pierādītu mikroorganismu augšanas atkarību no šī stāvokļa, tiek noteikta ūdens aktivitāte, kas ir attiecība starp produktā esošā ūdens brīvās, daļēji saistītās un teorētiski iespējamo piesātinātā tvaika spiedienu p_0 (Leff & Fierer, 2013).

Skaitliski a_w ir robežās no 0.00 līdz 1.00 un ir noteikts kā mikrobioloģisko bīstamību raksturojošs parametrs daudziem pārtikas produktiem un kā augšanu limitējošais rādītājs daudzām mikroorganismu grupām. Produkti, kas satur brīvu ūdeni, gaisā izvadīs mitrumu tvaika formā tikai tad, ja tvaika spiediens gaisā ir zemāks par produkta tvaika spiedienu.

Lielākajai daļai pārtikas produktu ūdens aktivitāte ir virs 0.95, un tas nodrošina pietiekamu mitrumu, lai notiktu baktēriju, raugu un pelējuma augšana.

Ja pārtikas produkta ūdens aktivitāte gatavajā produktā tiek kontrolēta līdz 0.85 vai mazāk, tas kavē organismu augšanu, kā arī ūdens aktivitāte ietekmē pārtikas stabilitāti uzglabāšanas laikā².

Ūdens aktivitāte 0.48±0.01 rudzu miltiem un 0.45±0.01 auzu miltiem.

Ūdens aktivitāte a_w blakusproduktos bija no 0.82 līdz 0.87, kas tiek iedalīti pārtikas produktu grupā ar augstu ($a_w > 0.85$) ūdens aktivitāti, piem., tā saucami "mitrie produkti", kas uzskatāmi par labu vidi mikroorganismu un baktēriju augšanai.

Lai blakusproduktus varētu uzglabāt līdz pievienošanai pamatizejvielām (rudzu un auzu miltiem), nepieciešama to kaltēšana.

Pēc iegūtajiem rezultātiem redzam, ka zemais mitruma daudzums un ūdens aktivitāte ir piemēroti, lai kaltētus blakusproduktus varētu uzglabāt līdz to pievienošanai jaunu produktu izstrādē, kā arī to a_w ir smazināts ($a_w < 0.6$), kas tad arī ierobežo vai nepieļauj mikroorganismu un baktēriju tālāku augšanu un/ vai attīstību.

pH vērtība

pH vērtība ir svarīgs pārtikas produktu rādītājs, kā arī tas ietekmē ne tikai pārtikas uzglabāšanas drošumu, bet arī tehnoloģiskos procesus.

Nosakot pH vērtību, ābolu blakusproduktu miltiem pH vērtība bija 3.72±0.01, burkānu blakusproduktu miltiem 5.98±0.03, ķirbju blakusproduktu miltiem 5.20±0.01, bet rudzu un auzu miltiem vidēji 6.15 un 6.22±0.02.

Ūdens absorbcija

Nosakot ūdens absorbciju, vislielākā spēja saistīt ūdeni tika noteikta ABM un KBM.

Kā uzskata zinātnieki Inglett (2013) un Kohajdová (2011), atšķirīgās WAI vērtības ir saistītas ar blakusproduktu atšķirīgo ķīmisko sastāvu, diētisko šķiedrvielu, cukuru, kā arī ar olbaltumvielu un cietes saturu produktos (Inglett, Chen, Xu, & Lee, 2013; Kohajdová et al., 2011; Campus, 2011).

Zinātnieks Arscott (2010) norādīja, ka nešķīstošajām šķiedrvielām ir augstāka ūdens absorbcijas spēja, glikozes adsorbcijas spēja un amilāzes ierosināšanas/ inhibēšanas spēja nekā celulozei un citām

² <https://www.fda.gov>, skatīts 11.03.2019.

augļu un dārzeņu šķiedrvielām (Arscott & Tanumihardjo, 2010). Salīdzinoši, ābolu blakusproduktos nešķīstošo šķiedrvielu saturs ($36.50 \pm 1.14\%$), tomēr ūdens absorbcija nav viennozīmīgi atkarīga tikai no šķiedrvielu satura, bet no citām uzturvielām, piem., cukuriem, kuri ābolos un to blakusproduktos ir $10.39\text{--}11.10 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Aguedo et al., 2012; Li et al., 2002).

Mikrobioloģiskie rādītāji

Blakusproduktiem pēc kaltēšanas ar MV noteiktie mikrobioloģiskie rādītāji apkopoti 4. tabulā.

4. tabula/ Table 4

Mikrobioloģiskie rādītāji kaltētajos blakusproduktos, rudzu un auzu miltos/ *Microbiological evaluation of dried by-products, rye and oat flour*

Izejviela/ <i>Raw material</i>	MAFAM, lg KVV g ⁻¹ / <i>lg CFU g⁻¹</i>	Pienskābes baktēriju kopskaits, lg KVV g ⁻¹ / <i>Lactic acid, lg CFU g⁻¹</i>	Raugi, lg KVV g ⁻¹ , <i>lg CFU g⁻¹</i>
ABM	4.5	2.3	2.5
BBM	5.0	2.5	3.5
KBM	3.5	2.0	2.5
RM	5.5	5.5	5.0
AM	5.0	5.0	5.5

KVV – koloniju veidojošās vienības/ **CFU** - *Colony forming units* **ABM** - ābolu blakusproduktu milti, **BBM** - burkānu blakusproduktu milti, **KBM** - ķirbju blakusproduktu milti, **RM** - rudzu milti, **AM** - auzu milti/ **ABM** - *apple by-products flour*, **BBM** – *carrot by-products flour*, **KBM** – *pumpkin by-products flour*, **RM** - *rye flour*, **AM** - *oat flour*

Mezofīli aerobo un fakultatīvi anaerobo (MAFA) baktēriju kopskaits blakusproduktos pēc kaltēšanas bija robežās no $2.5 \text{ lg KVV g}^{-1}$ līdz $5.5 \text{ lg KVV g}^{-1}$, rudzu un auzu miltos bija līdz $5.5 \text{ lg KVV g}^{-1}$.

Pienskābes baktēriju skaits identificēts no $2.5 \text{ lg KVV g}^{-1}$ līdz $5.50 \pm 0.04 \text{ lg KVV g}^{-1}$.

Raugu kopskaits $2.5 \text{ lg KVV g}^{-1}$ līdz $5.5 \text{ lg KVV g}^{-1}$.

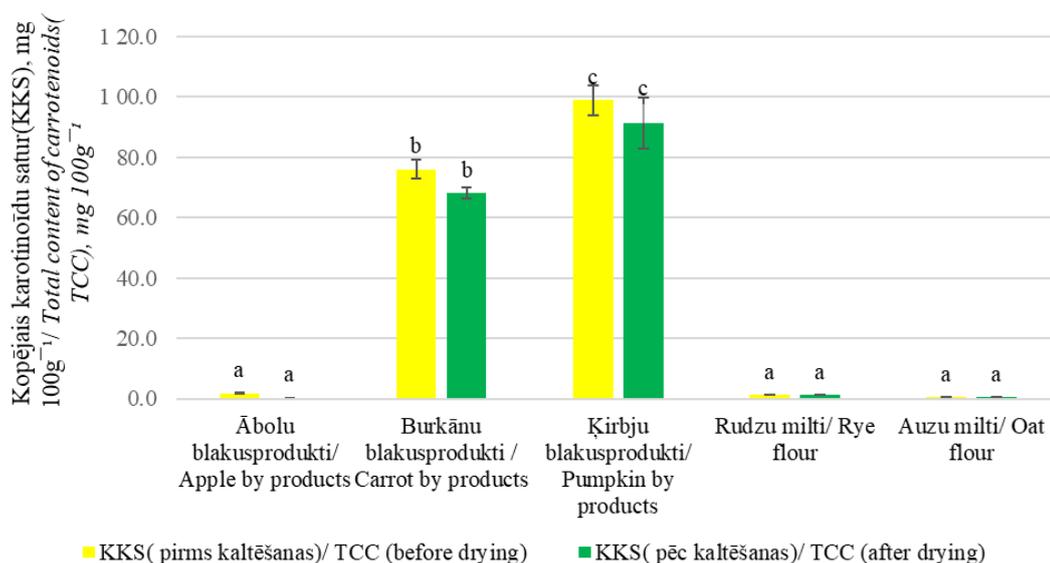
Pelējumu kopskaits netika konstatēts blakusproduktos, kā arī rudzu un auzu miltos.

Mikrobioloģiskie rādītāji nepārsniedz EK regulā (EK) Nr. 2073/ 2005 pieļaujamās normas. Mikroviļņu jaudas, temperatūras (40°C) iedarbības un kaltēšanas rezultātā blakusproduktu samazinātais mitruma daudzums un zemā ūdens aktivitāte ļauj samazināt mikrobioloģisko piesārņojumu līdz pieļaujamajam līmenim un tos izmantot kā izejvielu pārtikas rūpniecībā.

Bioloģiski aktīvās vielas un antiradikālā aktivitāte

Kopējie karotinoīdi

Kopējais karotinoīdu saturs svaigos blakusproduktos ir atkarīgs no daudziem faktoriem- šķirnes, laika apstākļiem, ģeogrāfiskā izvietojuma, kā arī no blakusprodukta ieguves un apstrādes veida. Kā parāda MV kaltēšanas rezultāti (4. attēls), tad pēc kaltēšanas KKS visos blakusproduktos ir samazinājies.



4. att. **Kopējais karotinoīdu saturs (KKS) blakusproduktos/**
Fig. 4. Total content of carotenoids in by-products

Karotinoīdu satura analīze uzrādīja, ka pastāv būtiskas atšķirības starp to saturu svaigos ābolu blakusproduktos un ķirbju un burkānu blakusproduktos ($p < 0.05$). Ābolu blakusproduktos KKS pirms MV kaltēšanas bija $1.82 \pm 0.02 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, pēc kaltēšanas $0.27 \pm 0.02 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$. Vislielākais karotinoīdu saturs pēc MV kaltēšanas bija saglabājies burkānu un ķirbju blakusproduktos ($68.07 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ un $91.28 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), un starp to saturu nav būtisku atšķirību ($p > 0.05$).

Mikroviļņu-vakuuma kaltēšanas rezultātā visos blakusproduktos KKS samazinājās. Būtiskākais samazinājums noteikts ābolu blakusproduktos.

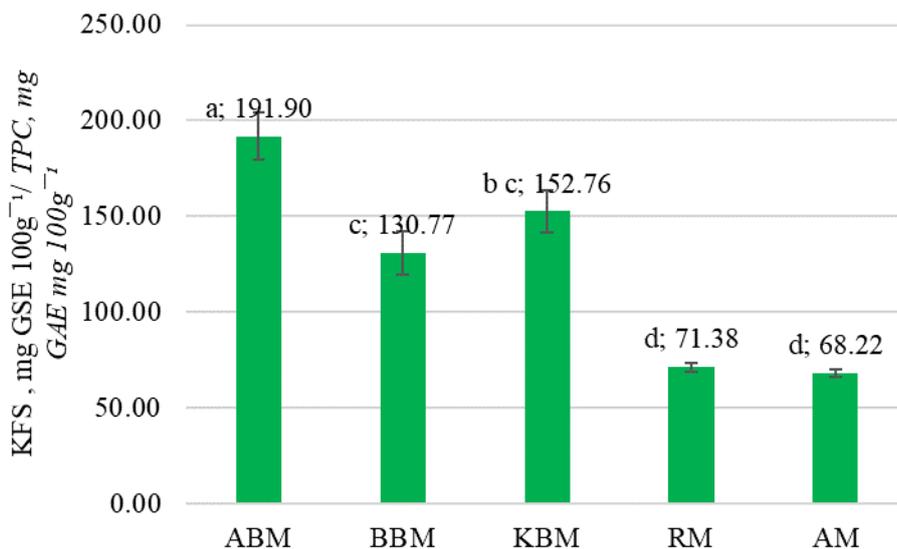
Karotinoīdu saturs var samazināties termiskās iedarbības rezultātā, kā arī ar skābekļa un gaismas pieejamību tehnoloģiskā procesa laikā (Priecina & Karklina, 2014). Tomēr, salīdzinot ar zinātnieces Kampuses pētījumu par ķirbju kaltēšanu ar konvekcijas kaldi, MV kaltēšanas laikā to saturs saglabājās augstāks (Kampuse, Ozola, Straumite, & Galoburda, 2015).

Kopējie fenoli

Fenolu saturs izejvielās ir nozīmīgs rādītājs, jo fenoli nosaka dārzeņu un augļu rūgto un savelkošo garšu, kas turpmākajā pētījumā varētu ierobežot blakusproduktu pielietojumu ekstrūzijā.

Fenolu saturs ir atkarīgs ne tikai no auga šķirnes, reģiona, bet arī no auga daļas.

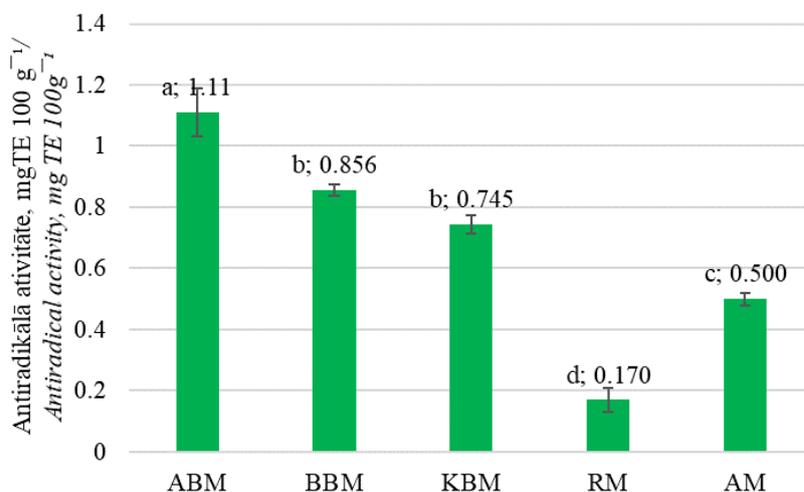
Fenolu saturs blakusproduktos un izejvielās attēlots 5. attēlā.



ABM - ābolu blakusproduktu milti, **BBM** - burkānu blakusproduktu milti, **KBM** - ķirbju blakusproduktu milti, **RM** - rudzu milti, **AM** - auzu milti/ **ABM** - apple by-products flour, **BBM** – carrot by-products flour, **KBM** – pumpkin by-products flour, **RM** - rye flour, **AM** - oat flour. Starp paraugiem, kuru apzīmējumā iekļauti vienādi apzīmējumi (a, b, c, d) nav būtisku atšķirību ($p > 0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=3$) / Similar letters (a, b, c, d) indicate no significant difference among samples. The data is presented as a mean ($n=3$).

5.att. **Kopējo fenolu (KFS) blakusproduktos/**
Fig.5. Total phenolics content (TPC) of by-products

Kaltētu blakusproduktu kopējo fenolu saturs (KFS) analīze pierādīja, ka visaugstākais KFS bija ābolu blakusproduktu miltos. Zinātnieki, pētot dažādu šķirņu ābolus, noteica, ka KFS ābolu mizā ir visaugstākais, salīdzinoši no kopējā augļa daļas 83.2 GSE 100g⁻¹ bija mīkstumā un 500.2 GSE 100g⁻¹ ābolu mizā (Olfe, Ianzhong, & Iu, 2003).



ABM - ābolu blakusproduktu milti, **BBM** - burkānu blakusproduktu milti, **KBM** - ķirbju blakusproduktu milti, **RM** - rudzu milti, **AM** - auzu milti/ **ABM** - apple by-products flour, **BBM** – carrot by-products flour, **KBM** – pumpkin by-products flour, **RM** - rye flour, **AM** - oat flour.

Starp paraugiem, kuru apzīmējumā iekļauti vienādi apzīmējumi (a, b, c, d) nav būtisku atšķirību ($p > 0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=3$) / Similar letters (a, b, c, d) indicate no significant difference among samples. The data is presented as a mean ($n=3$).

6.att. **Antiradikālā aktivitāte kaltētos blakusproduktos, rudzu un auzu miltos/**
Fig. 6. Antiradical activity in dried by-products, rye and oat's flour

Kaltētu blakusproduktu kopējo fenolu satura (KFS) analīze pierādīja, ka visaugstākais KFS bija ābolu blakusproduktu miltos.

Blakusproduktu atšķirīgais ķīmiskais sastāvs, jo īpaši fenolu savienojumu atšķirība, nosaka to, ka starp KFS pēc kaltēšanas pastāv būtiskas atšķirības starp blakusproduktu un rudzu un auzu miltos noteikto kopējo fenolu saturu. Datu analīze parādīja, ka starp blakusproduktu KFS saturu pēc kaltēšanas nepastāv būtiska atšķirība ($p=0.88$), kā arī nepastāv atšķirība starp KFS saturu rudzu un auzu miltos, attiecīgi KFS rudzu miltos 71.38 ± 2.34 GSE $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ un auzu miltos 68.22 ± 2.16 $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ ($p=0.05$), savukārt, pastāv būtiska atšķirība starp KFS blakusproduktos un rudzu un auzu miltos ($p<0.05$).

Polifenolu saturs un dažādība nosaka arī antiradikālo aktivitāti produktos (Kruma et al., 2016).

Antiradikālā aktivitāte (DPPH metode) kaltētajos blakusproduktos un rudzu un auzu miltos attēlota 6. attēlā.

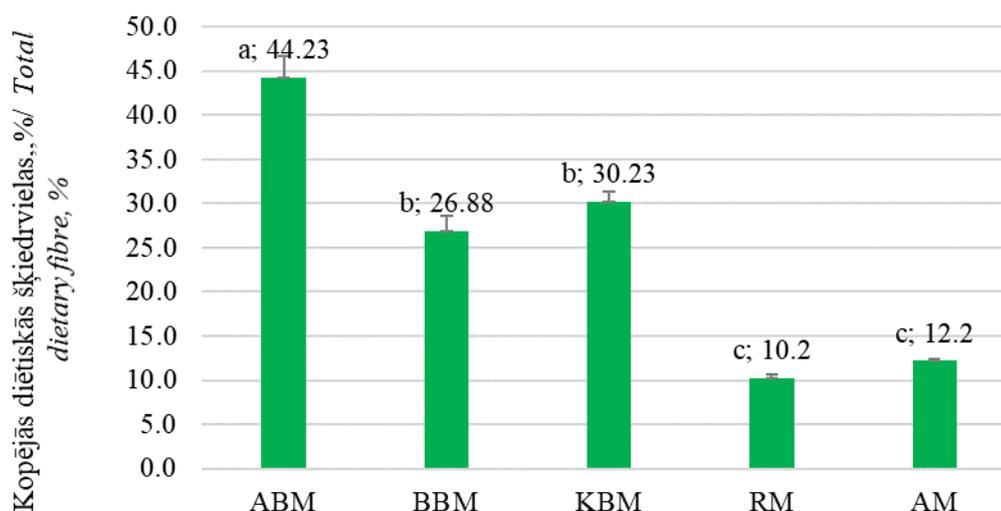
Nosakot kaltētajiem blakusproduktiem antiradikālo aktivitāti (DPPH metode), visaugstākā spēja saistīt brīvos radikāļus ir kaltētiem ābolu blakusproduktu miltiem un auzu miltiem.

Veicot datu analīzi, starp antiradikālo aktivitāti blakusproduktos un izejvielās pastāv būtiska atšķirība ($p<0.05$), ko nosaka arī atšķirīgais fenolu saturs produktā.

Kopējo diētisko šķiedrvielu noteikšana, TDF

Graudi, augļi un dārzeņi ir šķiedrvielu avots, ko izmanto kā izejvielas pārtikas rūpniecībā, lai paaugstinātu galaprodukta uzturvērtību un piešķirtu pārtikai funkcionālas īpašības (Li et al., 2014; Eskicioglu, Kamiloglu, & Nilufer-erdil, 2015).

Kaltētiem blakusproduktiem, auzu un rudzu miltiem noteikts kopējais diētisko šķiedrvielu daudzums, kas attēlots 7. attēlā.



ABM - ābolu blakusproduktu milti, **BBM** - burkānu blakusproduktu milti, **KBM** - ķirbju blakusproduktu milti, **RM** - rudzu milti, **AM** - auzu milti/ **ABM** - *apple by-products flour*, **BBM** - *carrot by-products flour*, **KBM** - *pumpkin by-products flour*, **RM** - *rye flour*, **AM** - *oat flour*. Starp paraugiem, kuru apzīmējumā iekļauti vienādi apzīmējumi (a, b, c) nav būtisku atšķirību ($p>0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=3$). *Similar letters (a, b, c) indicate no significant difference among samples ($p>0.05$). The data is presented as a mean ($n=3$).*

7. att. **Kopējo diētisko šķiedrvielu saturs kaltētu blakusproduktu, rudzu un auzu miltos/**
Fig.7. Total dietary fiber content in dried by-products, rye and oat's flour

Pēc iegūtajiem rezultātiem visaugstākais TDF saturs (44.23%) ir ABM, savukārt, BBM - 26.88%, KBM - 30.23%, AM - 10.2%, RM - 12.2% no sausas.

Tas sakrīt arī ar citu zinātnieku datiem par TDF saturu ābolu blakusproduktos, kur noteikts, ka TDF saturs ābolu mizās pēc izkaltēšanas ir 41% (Rupasinghe et al., 2008). Zinātnieki Kohajdova (2011) un Figuerola (2005) savos pētījumos ieguva līdzīgus datus par kaltētu blakusproduktu diētiskajām

šķiedrvielām, kur ābolu blakusproduktos tās bija 42.7%, un mitruma saturs 5.36 % (Kohajdová et al., 2011; Figuerola & Mar, 2005a).

Tomēr, pievienojot šķiedrvielas, jāņem vērā galaprodukta sensorās īpašības, jo to pievienošana var izraisīt dažādas izmaiņas gala produktu fizikāli-ķīmiskajās īpašībās: izskatā, struktūrā, formā, garšā, u.c. (Eskicioglu, Kamiloglu, & Nilufer-Erdil, 2015; Mahaiyar et al., 2012).

Veicot datu analīzi, secinām, ka pastāv cieša korelācija starp kopējo diētisko šķiedrvielu, TDF daudzumu un ūdens absorbciju WAI blakusproduktos, korelācijas koeficients $r=0.97$.

Kaltēto blakusproduktu un izejvielu sensorā vērtēšana

Lai novērtētu kaltēto un samalto blakusproduktu kvalitāti un tālāku atbilstību izmantošanai pētījumā, tika veikts to sensorais novērtējums.

Kaltēto un samalto blakusproduktu sensorais novērtējums attēlots 5.tabulā.

5. tabula/ Table 5

Kaltēto blakusproduktu sensorā vērtēšana/ Sensory evaluation of dried by products

Produkts/ Product		KS*	Izstrādājuma kvalitāte/ Product quality
	ABM	3.00	Ļoti laba/ Very good
	BBM	2.75	Ļoti laba/ Very good
	KBM	2.74	Vidēja/ Average

ABM - ābolu blakusproduktu milti, **BBM** - burkānu blakusproduktu milti, **KBM** - ķirbju blakusproduktu milti, **RM** - rudzu milti, **AM** - auzu milti/ **ABM** - apple by-products flour, **BBM** - carrot by-products flour, **KBM** - pumpkin by-products flour, **RM** - rye flour, **AM** - oat flour

Veicot kaltēto blakusproduktu miltu sensoro novērtējumu, ārējo izskatu, krāsu, smaržu, garšu, tika secināts, ka tie atbilst visiem garšas, izskata, konsistences parametriem, respektīvi, tiem nav svešu, neraksturīgu garšu un smaržu, tie nav izteikti rūgti, skābi, lipīgi vai nepatīkama izskata. KS aprēķināja pēc formulas(1)

$$KS_b = (KS_{ai} + KS_g + KS_{sm}) * n^{-1}, \quad (1)$$

kur - KS_b - Kvalitātes skaitlis blakusproduktiem,
 KS_{ai} - Kvalitātes skaitlis blakusproduktu ārējam izskatam, krāsai,
 KS_g - Kvalitātes skaitlis blakusproduktu garžai un pēcgaršai,
 KS_{sm} - Kvalitātes skaitlis blakusproduktu smaržai,
 $n=3$.

Ja kvalitātes skaitlis – $2.75 < KS < 3$ - ļoti laba kvalitāte,
 $2 < KS < 2.74$ - vidēja kvalitāte,
 $KS < 2$ - neapmierinoša kvalitāte.

Paraugi tiek uzskatīti par pieņemamiem un izmantojami tālākajiem pētījumiem, ja to kvalitātes skaitlis $KS > 2$.

Visiem kaltētajiem blakusproduktu miltiem $KS > 2$ un starp paraugu kvalitātes novērtējumu būtisku atšķirību nav ($p=0.75 > 0.05$).

Lai novērtētu blakusproduktu krāsu, kas nepieciešams, lai paredzētu galaprodukta iznākuma krāsu, veica to analīzi ar spektrofotometru.

Kaltētajiem blakusproduktiem, rudzu un auzu miltiem noteiktā krāsa attēlota 6. tabulā.

**Kaltēto blakusproduktu, auzu un rudzu miltu krāsa/
Colour of dried by-products, rye and oat flour**

Izejviela/ Raw material	L* vērtība/ L* value	a* vērtība/ a* value	b* vērtība/ b* value
 ABM	26.83±1.04d	13.61±0.62e	58.81±0.96d
 BBM	63.62±15.01b	48.36±1.70c	83.77±0.44bc
 KBM	41.74±9.50c	20.53±3.54d	70.67±1.87cd
 RM	76.40±1.33a	71.96±2.06a	90.05±0.62a
 AM	77.51±1.67a	65.31±3.08b	90.55±0.77a

ABM - ābolu blakusproduktu milti, **BBM** - burkānu blakusproduktu milti, **KBM** - ķirbju blakusproduktu milti, **RM** - rudzu milti, **AM** - auzu milti/ **ABM** - apple by-products flour, **BBM** - carrot by-products flour, **KBM** - pumpkin by-products flour, **RM** - rye flour, **AM** - oat flour. Paraugi vienā kolonnā, kuru apzīmējumos iekļauti vienādi burtu apzīmējumi (a,b,c,d,e) būtiski neatšķiras ($p>0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=10$)/ Similar letters (a, b, c, d) indicate no significant difference among samples ($p>0.05$). The data is presented as a mean ($n=10$).

CIE L* parametrs norāda kaltēto blakusproduktu krāsas intensitāti, kuru ietekmēja kaltēšanas apstākļi un mikroviļņu–vakuuma iedarbība.

Visas izejvielas atrodas gaišajā spektra apgabalā. Visgaišākie pēc L* vērtību analizēšanas bija auzu milti 77.51±1.67 un rudzu milti - 76.40±1.33, burkānu blakusproduktu miltiem L* vērtība 63.62±15.01, ķirbju blakusproduktu miltiem L* vērtība 41.74±9.50, bet vistumšākie bija ābolu blakusproduktu milti - L* vērtība sasniedza 26.83±1.04 vienības, kas skaidrojams ar to, ka ābolu blakusprodukti skābekļa iedarbībā oksidējas jau pirms kaltēšanas.

Zinātnieks Dutta (2006) secināja, ka termiskās iedarbības laiks blakusproduktu kaltēšanas rezultātā un temperatūra pazemina L* vērtību termolabilo savienojumu degradācijas rezultātā, veidojot tumšu krāsu un samazinātu intensitāti produktos (Dutta et al. 2006).

Veicot datu analīzi redzam, ka starp paraugiem pastāv būtiskas atšķirības ($p<0.05$) starp L* vērtību, kas turpmākajos pētījuma posmos jāņem vērā, sastādot izejvielu proporcijas.

Kaltēšanas rezultātā izmainās arī produkta krāsa, kas izskaidrojams ar termisko iedarbību, kā arī ar ķīmiskajām reakcijām, kas norit temperatūras ietekmē ar cukuru, olbaltumvielu, tauku saturošajiem produktiem, kā arī ar to, ka daļa no bioloģiski aktīvajām vielām, kā pigmenti un karotinoīdi, kas nosaka produktu krāsu, zaudē savu aktivitāti (Roongruangsri & Bronlund, 2015; Dar et al., 2014).

Kaltējot produktus, samazinās peroksidāzes (PPO) aktivitāte, rezultātā, brūnēšana samazinās un palielinās krāsu vērtība (L*) (Prathapan et al., 2009; Marija Lucia et al., 2002).

Mikroviļņu kaltēšanas laikā, blakusproduktiem ir irobežota skābekļa padeve, līdz ar to, izkaltētie produkti ir ar intensīvāku krāsu.

Ābolu blakusproduktu sastāvā ir vislielākais cukuru daudzums, pēc literatūras datiem, to daudzums no ogļhidrātu satura ir aptuveni 80% šķīstošie cukuri: no tiem saharoze aptuveni 2%, glikoze 2.4%, fruktoze 6.0% (Gorsel et al., 1992). Šis faktors varētu izraisīt tumšākas krāsas veidošanos Majāra reakcijā.

Visi kaltētie blakusprodukti atrodas pozitīvas a* - sarkanās krāsas intensitātes diapazonā, kā arī pozitīvas b* - dzeltenas krāsas intensitātes diapazonā.

Pēc 5. tabulā apkopotajiem rezultātiem, redzam, ka ABM sarkanās krāsas intensitāte ir 13.61±0.62, BBM - 48.36±1.70 un KBM - 20.53±3.54, un dzeltenās krāsas intensitāte ABM - 58.81±0.96, BBM - 83.77±0.44, KBM - 70.67±1.87 b* spektra vienības.

Kaltētie ābolu blakusprodukti ir vistumšākie pēc visiem CIE krāsu parametriem salīdzinājumā ar burkānu un ķirbju blakusproduktiem, starp paraugiem pastāv būtiska krāsu atšķirība ($p<0.05$).

Ābolu blakusprodukti satur arī dažādus fermentus, organiskās skābes, kā arī cukurus, piemēram, D-galakturonskābi. Dārzenos un augļos esošie karotinoīdi ir galvenās bioloģiski aktīvās vielas, kas nosaka to krāsu no tumši zaļas līdz spilgti oranžai un sarkanai (Obradović et al., 2015).

Veicot korelācijas analīzi starp produktos esošajiem karotinoīdiem un a*, b* un L* vērtībām kaltētajos blakusproduktos pastāv vāja, negatīva korelācija:

- starp KFS un a* vērtību pastāv mērena negatīva korelācija (r=-0.39);
- starp KFS un b* vērtību pastāv vāja negatīva korelācija (r=-0.16);
- starp KFS un L* vērtību pastāv vāja negatīva korelācija (r=-0.24).

Negatīvais korelācijas koeficients raksturo tendenci, jo lielāka L* vērtība (paraugs atrodas gaišākas intensitātes diapazonā), jo mazāk karotinoīdu ir paraugā.

Ekstrūzija ar vienas vītnes ekstrudieri

Pētījuma otrajā posmā izstrādātas receptūras un veikta produktu ekstrūzija ar vienas vītnes ekstrudieri, vadoties pēc izejvielu (rudzu un auzu) cietes klīsterizācijas temperatūrām, kuras pēc literatūras datiem rudziem ir no 50°C- 60.3°C³ un pievienojamā ūdens daudzumu, kura saturs piemērots līdz 17% izejvielu maisījumā (Niu et al., 2017).

Eksperimenta otrā posma receptūras attēlotas 7.tabulā.

7. tabula/ Table 7

Ekstrudējamo paraugu receptūras/ Recipes for extrusion

Paraugs*/ Sample*	RM, %	AM, %	K, %	BBM, %	ABM, %	KBM, %	H ₂ O, %
K	80	20	100	-	-	-	10±2
A10	72	18	90	-	10	-	10±2
A15	68	17	85	-	15	-	10±2
A20	64	16	80	-	20	-	12±2
B10	72	18	90	10	-	-	12±2
B15	68	17	85	15	-	-	12±2
B20	64	16	80	20	-	-	10±2
K10	72	18	90	-	-	10	10±2
K15	68	17	85	-	-	15	10±2
K20	64	16	80	-	-	20	10±2

K - Kontroles paraugs (80% rudzu milti, 20% auzu milti), **A10** - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K** - Control sample (80% rye flour, 20% oat flour), **A10** - sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products.

Par pamatu kontroles paraugam ņemti rudzu un auzu milti, kas ir tradicionāli Latvijas klimatiskajos apstākļos audzētas labības produkts un vērtīgs bioloģiski aktīvo vielu – vitamīnu, fenolu un antioksidantu avots.

Paraugu ekstrūziju veica pēc eksperimentālajām receptēm (7.tabula), pievienojot 10-14% ūdeni. Temperatūras visos ekstrūzijas posmos tika uzstādītas nemainīgas, ekstrūziju ar vienas vītnes ekstrudieri veica 4 eksperimentos, kur tika piemeklētas ekstrudiera atsevišķo zonu temperatūras, kā arī vītnes griešanās ātrums robežās no 600 līdz 800 apg min⁻¹, kā to nosaka iekārtas uzstādījumi.

Ekstrudēšana tika veikta PTF Maizes tehnoloģiju laboratorijā ar vienas vītnes ekstrudieri 4 dažādos eksperimentos, mainot temperatūru un vītnes griešanās ātrumu. Ekstrudēšanas tehniskie parametri attēloti 8. tabulā.

³ Rye production, chemistry and technology, Morphology and Chemistry of rye grain(2001) 2nd edition

**Vienas vītnes ekstrudiera parametri/
Single screw extrusion parameters**

Parametri/ Parameters	1.eksp.	2. eksp.	3. eksp.	4.eksp.
Barela uzstādītā temperatūra/ Barrel set temperature °C	83±2°C	86±2°C	86±2°C	96±2°C
Vītnes griešanās ātrums, apgr min ⁻¹ / Screw speed, rpm	600±20	700±20	750±20	800±20
Matricas izejas temperatūra/ Die set temperature °C	98±2°C	114±2°C	124±2°C	100±2°C
Sauso izejvielu padeves ātrums/ Dry feed, g min ⁻¹	25	25	25	25
Izejvielu plūsmas ātrums/ Liquid feed rate, kg 100kg ⁻¹	6.5			

3. eksperimentā tika paaugstināta matricas izejas temperatūra līdz +124°C, kā rezultātā bija nepieciešama arī vītnes griešanās ātruma palielināšana, jo sākās intensīva izejvielās esošo tauku degšana (auzu miltiem līdz pat 11g 100g⁻¹ (Kaur, Kaur, & Ahluwalia, 2014).

Ar vienas vītnes ekstrudieri iegūtie paraugi attēloti 8., 9. un 10. attēlos.



A10 – paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** – paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** – paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem/ **A10** – sample with 10% apple by-products, **A15** – sample with 15% apple by-products, **A20** – sample with 20% apple by-products

**8. att. Ar vienas vītnes ekstrudieri ekstrudētie paraugi ar ABM/
Fig. 8. Samples with ABM extruded with single screw**



B10 - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem/ **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products

**9. att. Ar vienas vītnes ekstrudieri ekstrudētie paraugi ar BBM/
Fig. 9. Samples with BBM extruded with single screw**



K10 - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K10** - Sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - Sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - Sample with 20% pumpkin by-products.

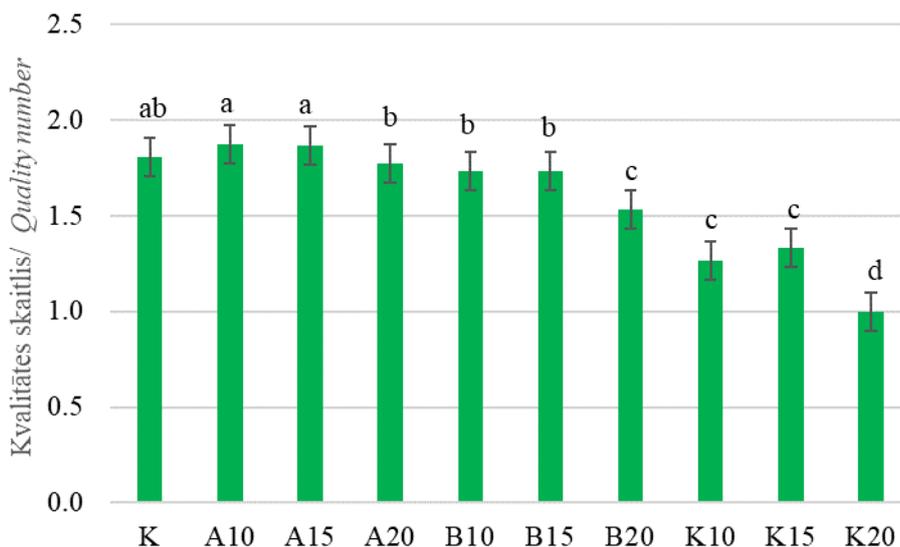
10. att. Ar vienas vītnes ekstrudieri ekstrudētie paraugi ar KBM/

Fig. 10. Samples with KBM extruded with single screw

Paraugu vērtēšanā piedalījās LLU PTF eksperti, kuri iepazinušies ar attiecīgā izstrādājuma kvalitāti raksturojošiem parametriem, kā arī turpmāku atbilstību izmantošanai ekstrudēšanā.

Vērtēšana veikta, lai noskaidrotu produktu kvalitāti un atlasītu tālākai to izpētei.

Paraugus vērtēja pēc to ārējā izskata, krāsas, formas, garšas, smaržas, cietības, kraukšķīguma. Kvalitātes vērtējums attēlots 11. attēlā.



K - Kontroles paraugs (80% rudzu milti, 20% auzu milti), **A10** - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K** - Control sample (80% rye flour, 20% oat flour), **A10** - sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products. Starp paraugiem, kuru apzīmējumos iekļauti vienādi burti (a, b, c, d) nepastāv būtiskas atšķirības sensorajā novērtēšanā ($p > 0.05$)./ Similar letters (a, b, c, d) indicate no significant difference among samples ($p > 0.05$).

11. att./ Sensorais vērtējums ekstrudētajiem paraugiem/

Fig.11. Evaluation of sensory characteristics for samples

Vērtējot paraugus ar blakusproduktu pievienošanu, tika aprēķināts kvalitātes skaitlis (2).

$$KS_p = (KS_{ai} + KS_g + KS_{sm} + KS_c + KS_f) / 5, \quad (2)$$

kur - KS_p - kvalitātes skaitlis produktam,
 KS_{ai} - kvalitātes skaitlis produkta ārējam izskatam, krāsai,

KS_g - kvalitātes skaitlis produkta garšai un pēcgaršai,
KS_{sm} - kvalitātes skaitlis produkta smaržai,
KS_c - kvalitātes skaitlis produkta cietībai/ kraukšķīgumam,
KS_f - kvalitātes skaitlis produkta formai.

KS jābūt $2 < KS < 3$, lai produktus uzskatītu par akceptējamiem turpmākajā pētījumā.

$2.75 < KS < 3$ - ļoti laba kvalitāte,

$2 < KS < 2.74$ - vidēja kvalitāte,

$KS < 2$ - neapmierinoša kvalitāte.

Novērtējot to kvalitātes kritērijus pēc formulas (2), iegūtie rezultāti parāda, ka to KS vērtībā pastāv būtiskas atšķirības ($p=0.005$).

Vērtējot katru sensoro parametru, starp paraugiem ārējā izskatā nepastāv būtiskas atšķirības ($p=0.09$), produktos saredzama izejvielu daļiņu nevienmērīga izkliede, apdedzis produkts. Vērtējot smaržu starp paraugiem pastāv būtiska atšķirība ($p=0.04$), A10 un A15 novērtēti kā viegli skābi ar rūgtu, neizteiktu smaržu, savukārt B20 un K20 kā nepatīkama, piedeguma, izteikti rūgta smarža. Vērtējot formu nepastāv būtiska atšķirība ($p=0.22$) starp produktiem, to vērtējums ir no 1.0 līdz 1.3, kas ierindo tos kvalitātes rādījumā - nav notikusi produkta uzpūšanās. Produktu garša novērtēta no 1.0 (B20) līdz 2.7 (A15), starp paraugiem, kuru sastāvā iekļauti blakusprodukti un kontroles paraugu garšas īpašībās pastāv būtiska atšķirība ($p=0.004$), kas atkarīgs no atšķirīgajiem blakusproduktiem un to garšas īpašībām, ko nosaka ķīmiskais sastāvs un bioloģiski aktīvo vielu saturs. Paraugiem ar 15% āboliem, bija izteikti saldākas un patīkamākas garšas īpašības. Novērtējot produktu cietību starp paraugiem pastāv būtiska atšķirība ($p=0.02$), paraugi A10, B10, K10 novērtēti ar $2.0 < KS < 2.7$, savukārt, paraugi, kuru sastāvā iekļauti 15% un 20% blakusprodukti, tika novērtēti $KS < 1.3$, kā ļoti cieti, stiklaini, drūpoši.

Novērtējot paraugus pēc ekstrūzijas ar vienas vītnes ekstrudieri, izskats un forma neatbilda ekstrudētu paraugu standartiem, respektīvi, nebija notikusi uzpūšanās, līdz ar to tie bija blīvi un arī izejvielās esošais ūdens nebija iztvaikojis. Tas, iespējams, bija pārāk mazās temperatūras dēļ pirms matricas zonā (98°C), līdz ar to produktos esošais ūdens nespēja pārvērsties tvaika formā, un nenotika cietes graudu izplešanās.

3.un 4. eksperimentā tika paaugstināta matricas izejas temperatūra līdz $+124^{\circ}\text{C}$, kā rezultātā bija nepieciešama arī vītnes griešanās ātruma palielināšana, jo sākās intensīva izejvielās esošo tauku degšana (auzu miltiem līdz pat $11\text{g } 100\text{g}^{-1}$ (Kaur et al., 2014)).

Tā kā vienas vītnes ekstrudiera jauda ir pārāk maza, lai notiktu produktu tilpummasas samazināšana, kā arī uzpūšanās, kas ir viens no būtiskiem kvalitātes rādītājiem ekstrudējamajiem produktiem, tad tika pieņemts lēmums, pētījumā izmantot ražotāja divvītņu ekstrudieri un pētījuma trešo posmu turpināt sadarbojoties ar brokastu pārslu ražotāju SIA MILZU. Ekstrūzijai tiku izmantots divsvītņu ekstrudieris SLG65-III (Datong Machinery, Ķīna), kuram ekstrūzijas daļa ir sadalīta trīs sekcijās, tā panākot vienmērīgu cietes klīsterizāciju. Maksimālā efektivitāte ir 130 kg h^{-1} .

Ekspierimenta trešais posms

Tā kā 2. posmā nevarēja nodrošināt produktu sensoros kvalitatīvos rādītājus, tad uzsāka 3. posmu- ekstrūziju ar divvītņu ekstrudieri ražotnē MILZU, kur ekstrudiera jauda un izmēri noteica jau ražotāja izstrādātos ekstrūzijas parametrus.

Divvītņu ekstrudiera parametri attēloti un 9. tabulā.

9. tabula/ Table 9

**Ekstrūzijas ar divvītņu ekstrudieri nemainīgie parametri/
Twin screw extrusion parameters set constant**

Parametrs/ Parameter	Temperatūra/ Temperature, °C	Vītnes griešanās ātrums, apg min⁻¹/ Screw speed, rpm⁻¹	Sauso izejvielu padeves ātrums/ Dry feed, g min⁻¹
Barela uzstādītā temperatūra/ Barrel set temperature, °C	120–125	1300-1500	30
Matricas izejas temperatūra/ Die set temperature, °C	140–160	1300-1500	40
Izejvielu plūsmas ātrums/ Liquid feed rate, kg 100 kg⁻¹	4.5		

Divu vītņu ekstrudiera parametri nodrošina izejvielu vienmērīgu plūsmu, kā arī temperatūras, tādējādi notiek cietes klīsterizācija jau pirmsmatricas daļā, un produktiem izejot jau cauri matricai notiek cietes graudu izplešanās un formas izveidošanās.

Pēc pētnieka Moscicki (2011) veiktajiem tehnoloģisko parametru pētījumiem, nevar viennozīmīgi formulēt precīzus darba apstākļus ekstrūzijā, jo šis process ir ļoti komplekss un galaprodukta kvalitāte ir atkarīga no daudziem faktoriem (Mościcki & van Zuilichem, 2011).

Ekstrudētie paraugi tika atlasīti vērtēšanai pēc to sensorajām īpašībām.

Paraugi pēc divvītņu ekstrudēšanas attēloti 12., 13. un 14. attēlos.

Paraugu vērtēšanu veica pēc ārējā izskata, garšas, smaržas, formas.



A10 - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem/ **A10** - samples with 10% apple by-products, **A15** - samples with 15% apple by-products, **A20** - samples with 20% apple by-products

12. att. Ar divvītņu ekstrudieri ekstrudētie paraugi ar ābolu blakusproduktiem/
Fig. 12. Samples extruded with twin screw extruder with apple by-products



B10



B15



B20

B10 - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem/ **B10** - samples with 10% carrot by-products, **B15** - samples with 15% carrot by-products, **B20** - samples with 20% carrot by-products

13. att. Ar divvītņu ekstrudieri ekstrudētie paraugi ar burkānu blakusproduktiem/
Fig. 13. Samples extruded with twin screw extruder with carrot by-products



K10



K15



K20

K10 - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K10** - samples with 10% pumpkin by-products, **K15** - samples with 15% pumpkin by-products, **K20** - samples with 20% pumpkin by-products

14. att. Ar divvītņu ekstrudieri ekstrudētie paraugi ar ķirbju blakusproduktiem/
Fig. 14. Samples extruded with twin screw extruder with pumpkin by-products

Paraugi tika nodoti sensorai vērtēšanai, pielietojot 5 punktu līniskalu, lai noteiktu krāsu (gaiša/tumša), apjomu, kraukšķīgumu, garšu un pēcgaršu.

Iegūtie vērtēšanas rezultāti atspoguļoti 10. tabulā.

10. tabula/ Table 10

Ekstrudēto produktu sensoro īpašību intensitātes tests (Līniskala)/
Sensory evaluation of extruded samples (Linescale)

Paraugs/ Sample	Krāsa/ Colour	Apjoms/ Volume	Kraukšķīgums/ Crispness	Garša/ Taste	Pēcgarša/ Aftertaste
K	2.1d	3.6a	4.1a	2.9b	3.9a
A10	3.1bc	3.8a	3.7ac	2.8b	3.5a
A15	3.6b	3.0b	4.3a	3.7a	3.9a
A20	3.8b	2.9b	4.3a	4.2a	3.4a
B10	2.2d	3.6a	3.9a	2.8b	3.7a
B15	2.9cd	2.9b	3.6ac	3.7a	3.1a
B20	4.5a	1.9c	2.6d	2.2c	2.5bc
K10	2.8c	3.8a	3.4bc	3.2b	3.4a
K15	2.9c	3.0b	3.2b	3.8a	3.2ac
K20	3.0bc	2.0c	3.0bd	2.2c	1.6d

K - Kontroles paraugs (80% rudzu milti, 20% auzu milti), **A10** - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10**

- paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K** - Control sample (80% rye flour, 20% oat flour), **A10** - sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products. Paraugi, kuru apzīmējums iekļauti vienādi burti (a, b, c, d), to īpašības būtiski neatšķiras ($p>0.05$), savukārt atšķirīgu burtu apzīmējums norāda, ka to īpašības ir būtiski atšķirīgas ($p<0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=35$) / Similar letters (a, b, c, d) indicate no significant difference among samples ($p>0.05$). The data is presented as a mean ($n=35$).

Krāsa

Vērtējot paraugu krāsu, vistumšākie bija paraugi ar 20% burkānu blakusproduktiem, kā arī produkti ar ābolu blakusproduktiem. Būtiska atšķirība ir starp visiem paraugiem, kuru sastāvā bija blakusprodukti un kontroles paraugu no rudzu un auzu miltiem.

Paraugos pievienotie blakusprodukti satur bioloģiski aktīvas vielas, kas darbojas arī kā krāsvielas, piem., karotinoīdi, kuru saturs ir atšķirīgs.

Visgaišākie pēc novērtējuma bija ekstrudētie paraugi ar 10% blakusproduktu piedevu, vistumšākie bija paraugi ar 20% burkānu blakusproduktu pievienošanu (4.5), savukārt, vērtējot apjomu, pastāv cieša ietekme starp blakusprodukta daudzumu un parauga apjomu. Jo vairāk tika pievienots blakusprodukts, jo ekstrudētā parauga apjoms samazinājās.

Datu analīzes rezultāti pierāda, ka pievienojot ābolu blakusproduktus, būtiski tiek izmainīta produktu krāsa, starp produktiem pastāv būtiskas atšķirības ($p<0.05$). Blakusprodukta daudzumam 10% un 15% apjomā nav būtiskas atšķirības, savukārt, pievienojot 20% ABM pastāv būtiska atšķirība starp vērtētajiem paraugiem ($p>0.05$).

Paraugiem, kuriem tika pievienoti ABM, $F_{apr}=69.94>F_{krit}=2.67$, ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), paraugiem, kam tika pievienoti BBM $F_{apr}=66.84>F_{krit}=3.09$ ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), līdz ar to var pieņemt, ka blakusprodukta saturs būtiski ietekmē tādu rādītāju kā krāsa. Paraugiem ar KBM, $F_{apr}=2.87<F_{krit}=3.09$ ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), pieņem, ka KBM daudzumam nav būtiska ietekme uz produktu krāsu.

Apjoms

Ekstrudētiem paraugiem apjoms ir būtisks, jo produkts iegūst izskatu, kas atbilst, piemēram, tādiem produktiem, kā sausmaizītes vai uzpūstie graudi un brokastu pārslas.

Paraugiem, kuriem tika pievienoti ABM, $F_{apr}=72.48>F_{krit}=2.67$ ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), paraugiem, kam tika pievienoti BBM $F_{apr}=7.98>F_{krit}=3.08$ ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), līdz ar to var pieņemt, ka ābolu un burkānu blakusproduktu saturam ir būtiska ietekme uz ekstrudēto produktu apjomu. Paraugiem ar KBM, $F_{apr}=2.55<F_{krit}=3.08$ ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), KBM daudzumam nav būtiska ietekme uz ekstrudēto produktu apjomu.

Vislielākais apjoms, ko var arī definēt kā mazāku tilpummasu ir kontroles paraugam un produktiem ar 10% blakusproduktu pievienošanu (A10, B10, K10), starp šiem paraugiem apjoma ziņā nav būtisku atšķirību ($p>0.05$). Savukārt, produktiem, kuriem palielināja blakusproduktu saturu, samazinājās apjoms un arī starp paraugiem, kuru sastāvā iekļauti 15% blakusprodukti būtisku atšķirību nav. Pievienojot 20% blakusproduktus, to apjoms būtiski atšķīrās no kontroles parauga un paraugiem ar 10 un 15% blakusproduktiem. Paraugiem K20 - apjoms samazināts un vērtējums - 1.9.

Kraukšķīgums

Paraugi A15 un A20, kā arī B10 un B15 bija viskraukšķīgākie, savukārt, B20 un K20 bija mazāk kraukšķīgi, un veicot dispersijas analīzi ($p=0.05$), secinām, ka pastāv būtiska atšķirība starp kraukšķīgumu paraugos ar pievienotajiem blakusproduktiem un to saturu.

Garša

Vissvarīgākais sensorais rādītājs ir produkta garša, jo pievienojot blakusproduktus tradicionāliem rudzu un auzu ekstrudētajiem produktiem, var tikt izmainīta ierastā graudaugu, piemēram, sausmaizīšu, brokastu pārslu garša.

Vislabākās garšas īpašības tika piešķirtas A15, A20, B15 un K15, savukārt ar ļoti zemām garšas īpašībām novērtēja produktiem ar 20% KBM un 20% BBM. Daudzos zinātniskajos pētījumos tiek skaidrota sensoro īpašību atkarība no produkta ķīmiska sastāva.

Sensorajā garšas intensitātes vērtējumā visaugstāko (4.2) novērtējumu ieguva A20, kas atbilst vērtējumam - ļoti patīk. Ābolu pēcgarša, maigais aromāts, viegli saldā garša ierindoja šo paraugu visaugstāk.

Pēcgarša

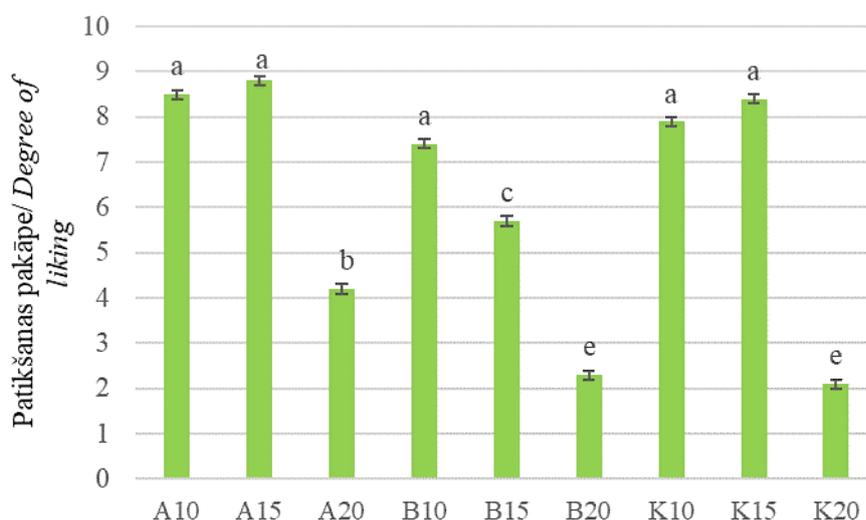
Pēcgaršas vērtējumā nav būtisku atšķirību starp paraugiem ar pievienotajiem blakusproduktiem, izņemot B20 un K20, kuru pēcgarša būtiski atšķiras no kontroles parauga un produktiem ar mazāku blakusprodukta saturu.

Veicot dispersijas analīzi, lai noteiktu vai blakusprodukta saturs ietekmē tādu rādītājus kā garša un pēcgarša, tika secināts, ka paraugiem, kuriem tika pievienoti ABM, $F_{apr}=56.10 > F_{krit}=3.09$, ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), paraugiem, kam tika pievienoti BBM $F_{apr}=80.59 > F_{krit}=3.09$ ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), paraugiem ar KBM, $F_{apr}=102.21 < F_{krit}=3.09$ ($n_1=3$, $n_2=35$, $\alpha=0.05$), līdz ar to var pieņemt, ka blakusprodukta saturs būtiski ietekmē tādu rādītājus kā garša un pēcgarša.

Vērtējot atsevišķi katru produktu ar atšķirīgiem blakusproduktiem, iegūtie rezultāti pierāda, ka pievienotajam blakusproduktam ir būtiska ietekme ($p < 0.05$) uz to sensorajām īpašībām.

Lai noskaidrotu potenciālo patērētāju domas par šāda veida produktiem, paraugi tika nodoti vērtēšanai Starptautiskajā izstādē "Riga Food 2017", kur tika veikta aptauja par produkta patikšanas pakāpi un vēlmi iegādāties šādus produktus tirdzniecībā.

Apkopotie rezultāti attēloti 15. attēlā.



A10 - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** – paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **A10** – sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products. Paraugi, kuru apzīmējumos iekļauti vienādi burti (a, b, c, e), to patikšanas pakāpe būtiski neatšķiras ($p > 0.05$), savukārt atšķirīgu burtu apzīmējums norāda, ka to patikšanas pakāpe ir būtiski atšķirīga ($p < 0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=130$) / Similar letters (a, b, c, e) indicate no significant difference among samples ($p > 0.05$). The data is presented as a mean ($n=130$).

15. att. Patikšanas pakāpe paraugiem ar blakusproduktiem/

Fig. 15. Liking degree of samples with by-products

Dispersijas analīzes rezultāti parāda, ka pievienotie blakusprodukti ietekmē patērētāju patikšanas pakāpi ($p=0.05$).

Aptaujājot potenciālos patērētājus, vislabāk patika produkti A10, A15, K10 un K15, un to patikšanas pakāpē nepastāv būtiskas atšķirības ($p < 0.05$).

Vismazāk patika paraugi B20 un K20, un to patikšanas pakāpē nepastāv būtiskas atšķirības ($p > 0.05$). Šo paraugu patikšanas pakāpe paraugam K20 bija 2.1 un paraugam

B20 - 2.4, kas ir ļoti nepatīk, iespējams tas saistīts ar neraksturīgo struktūru un formu, ko izraisīja pārāk lielais blakusproduktu saturs.

Sensorās īpašības negatīvi var ietekmēt notiekošie ķīmiskie procesi, dažādu sēra savienojumu veidošanās, nepiesātināto taukskābju enzimatiskā un neenzimatiskā oksidēšanās, olbaltumvielu denaturācija, cukuru reakcijas un citas pārvērtības (Berņa et al., 2013).

No 130 respondentiem, 78 atbildēja, ka labprāt iegādātos šādus produktus, tas ir 60% aptaujātie, savukārt 19% aptaujāto nezināja, vai iegādātos šādus produktus, bet 20% šādus produktus neiegādātos.

Jaunajiem ekstrudētajiem produktiem pēc patērētāju aptaujas ir potenciāla iespēja tikt ieviestiem ražošanā, jo lielākais īpatsvars jau izteica skaidru patīkšanu, kā arī neizlēmušo skaits ir 19%, kas nākotnē varētu pievienoties šādu produktu piekritējiem.

Fizikāli ķīmisko rādītāju noteikšana ekstrudētajiem produktiem

Mitrums

Visiem paraugiem pirms ekstrūzijas noteica mitrumu (11. tabula), lai varētu aprēķināt pievienojamo ūdens daudzumu, kurš pēc literatūras datiem, nebūtu ieteicams vairāk par 17-20% (Navale, Swami, & Thakor, 2015).

11. tabula/ Table 11

Ūdens aktivitāte un mitrums paraugos pirms un pēc ekstrūzijas/ Moisture content in crispbread samples before and after extrusion

Paraugi/ Sample	Ūdens aktivitāte paraugiem, a_w / Water activity of extruded products, a_w		Mitrums, %/ Moisture, %	
	Pirms ekstrūzijas/ Before extrusion	Pēc ekstrūzijas/ After extrusion	Pirms ekstrūzijas/ Before extrusion	Pēc ekstrūzijas/ After extrusion
K	0.424±0.01	0.389±0.01	8.24±0.01	6.36±0.03
A10	0.356±0.01	0.302±0.01	7.89±0.01	4.47±0.03
A15	0.386±0.01	0.311±0.01	8.2±0.02	4.55±0.01
A20	0.402±0.01	0.387±0.01	7.11±0.03	4.34±0.01
B10	0.346±0.01	0.310±0.01	7.51±0.04	5.02±0.02
B15	0.358±0.01	0.355±0.01	7.62±0.01	4.34±0.02
B20	0.377±0.01	0.328±0.01	8.18±0.02	5.02±0.02
K10	0.359±0.01	0.311±0.01	7.46±0.01	4.12±0.01
K15	0.390±0.01	0.307±0.01	7.89±0.01	3.96±0.01
K20	0.408±0.01	0.403±0.01	8.20±0.01	4.05±0.02

K - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** – paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** – paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** – paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20**- paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **A10** – sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products.

Visu kaltēto blakusproduktu un miltu mitrums pirms ekstrūzijas bija no 7.46-8.24%, kas noteica pievienojamā ūdens daudzumu līdz 10%, lai izejvielu maisījuma mitrums nepārsniegtu 17% līdz 20%, jo pēc zinātnieku ieteikumiem, izejvielu maisījuma mitruma saturam un daļiņu izmēra sadalījumam jābūt viendabīgam - tas novērsīs ekstrudera neregulāru darbu (šaušanu vai bloķēšanu) un nodrošinās vēlamo ekstrudātu kvalitāti (Levine & Miller, 2007).

Samazināts mitruma saturs izejvielās ietekmē ekstrūzijas spiedienu, bet tam nav būtiskas ietekmes uz ekstrudera darbību (t.i., materiāla viskozitātes palielināšanos) (L. Moscicki, M. Mitrus & Rejak, 2011).

Visiem ekstrudētajiem paraugiem mitruma saturs pēc ekstrūzijas ir no $3.96 \pm 0.01\%$ līdz $6.36 \pm 0.03\%$, tātad, jau izejot pēcmatricas posmā ir notikusi produkta esošā ūdens pārvēršanās tvaika formā un šī tvaika spiediena rezultātā arī ir notikusi izejmateriālu izplešanās un mitruma samazināšanās. Tas atbilst sausmaizīšu un ekstrudētu brokastu pārslu standartā noteiktajam mitruma saturam.

Mikroorganismu attīstību produktos ietekmē arī tajos vēl esošais ūdens, kas pieejams bioloģiski ķīmisko reakciju norisei, ko raksturo kā ūdens aktivitāti. Ūdens aktivitāte ir pietiekami zema un tiek kavēta mikroorganismu attīstība.

Kontroles paraugā ūdens aktivitāte pirms ekstrūzijas ir 0.424 ± 0.01 un 0.389 ± 0.01 pēc ekstrūzijas. Savukārt, pievienojot kontroles paraugiem blakusproduktus, ūdens aktivitātei bija tendence samazināties. Veicot korelācijas analīzi, redzam, ka a_w , kā arī blakusprodukta pievienotajam daudzumam ir cieša korelācija starp blakusprodukta daudzumu un a_w . Korelācijas koeficients $r=0.8$.

Viens no nozīmīgākajiem spēkiem, kas var saistīt ūdeni graudaugu miltos un blakusproduktu miltos ir kapilārais spiediens. Jo lielāks ir kapilāru rādiuss (r) šūnās (μ), jo zemāks spiediens nepieciešams, lai izvadītu ūdeni no materiāla.

Viens no izskaidrojumiem, kāpēc notika ūdens aktivitātes samazināšanās var būt, ka paraugu termiskās apstrādes un spiediena rezultātā, notika daļēja šūnu sienīņu sadalīšanās, kā rezultātā kapilāru rādiuss šūnās palielinājās. Pateicoties kapilāru rādiusa palielināšanai, nepieciešams zemāks spiediens, lai izvadītu esošo ūdeni (Savlak, T??rker, & Ye??ilkanat, 2016).

Ūdens absorbcijas indekss(WAI)

Izejvielu WAI ir svarīgs rādītājs, lai noteiktu, cik ūdeni absorbēs izejvielas, kā arī, cik ekstrūzijas rezultātā notiks ūdens iztvaikošana un tilpummasas samazināšanās viršanas šķidrums iztvaikošanas rezultātā (Tako et al., 2014).

Paraugiem noteiktais ūdens absorbcijas indekss WAI ir attēlots 12. tabulā.

12. tabula/ Table 12

Ūdens absorbcija paraugiem pirms un pēc ekstrūzijas/ Water Absorption for samples before and after extrusion (WAI, g g⁻¹)

Paraugi/ Sample	Ūdens absorbcija/ Water Absorption, g g ⁻¹	
	Pirms ekstrūzijas/ Before extrusion	Pēc ekstrūzijas/ After extrusion
K	5.30±0.02	4.70±0.02
A10	5.52±0.02	4.92±0.01
A15	5.63±0.02	5.03±0.02
A20	5.74±0.03	5.14±0.04
B10	5.55±0.01	4.95±0.02
B15	5.68±0.02	5.08±0.02
B20	5.81±0.04	5.20±0.04
K10	5.37±0.04	4.77±0.01
K15	5.40±0.02	4.81±0.03
K20	5.44±0.02	4.84±0.01

K - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** – paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** – paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** – paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20**- paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **A10** – sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products.

Visiem paraugiem ūdens absorbcija pēc ekstrudēšanas samazinājās. Zinātnieks Bettge (2006), norāda, ka nešķīstošajam arabinoksilānam, kas sastopams graudos, t.sk. arī rudzu un auzu miltos, ir lielāka ūdens saistīšanas un noturēšanas spēja (Bettge et al., 2006). Savukārt, zinātnieki Raleng (2018), pievienojot ābolu blakusproduktus, secināja, ka rezultātā pastāv cieša negatīva korelācija starp ābolu blakusproduktu daudzumu un WAI ekstrudētajam galaproduktam (Raleng, Singh, Singh, & Atkan, 2016).

Blakusproduktu miltu iekļaušana graudaugu paraugos izraisīja izmaiņas ūdens absorbcijas īpašībās. Pakāpeniski palielinājās ūdens absorbcija, palielinoties dārzeņu blakusprodukta daudzumam, iespējams, šo dārzeņu diētisko šķiedrvielu daudzuma dēļ. Datu analīze parāda būtisku atšķirību ($p < 0.05$) starp WAI paraugos, kam palielināja blakusproduktu saturu.

Ūdens absorbcija, salīdzinājumā ar kontroles paraugu, palielinājās par 56% pievienojot ķirbju blakusproduktus un par 55%, pievienojot burkānu blakusproduktus.

WAI paraugiem, kas ekstrudēti ar divvītņu ekstrudieri, kā aprakstījis Geetha et al. (2012), svārstījās no 2.7 līdz 5.21 g g⁻¹ un to ietekmēja ekstrūzijas procesa apstākļi (temperatūra, vītnes ātrums un izejvielu padeves ātrums) (Wójtowicz et al., 2015).

Daudzu cietes produktu WAI palielinās kopā ar temperatūru, kas pieaug ekstrudiera pirms kondicionēšanas posmā/ barelā. Tiek pieņemts, ka maksimālā vērtība tiek sasniegta ap temperatūras diapazonu no 180°C līdz 200°C. Ja šīs temperatūras tiek pārsniegtas, WAI samazinās un izraisa ūdens šķīdības (WSI) palielināšanos (Mościcki & van Zuilichem, 2011; Levine & Miller, 2007).

Veicot vienfaktora dispersijas analīzi, redzam, ka pastāv mērena korelācija starp TDF un WAI ($r=0.58$).

Ekstrudēto produktu tilpummasa

Struktūras un funkcionālās īpašības ekstrudētajiem produktiem ir viens no galvenajiem faktoriem, lai patērētājs tos akceptētu un ražotājs varētu tos virzīt tirgū (Huang & Zhang, 2012).

Ekstrudēto produktu tilpummasu iespējams izmantot kā rādītāju paraugu porainības noteikšanai, tas ir mērījums, cik lielā mērā ekstrūzijas rezultātā notiek produkta izplešanās. Ekstrūzijas laikā radītais siltums var paaugstināt ūdens temperatūru virs viršanas temperatūras tā, ka tad, kad ekstrudāts iziet no matricas, daļa no mitruma ātri pārvēršas tvaikā un rezultātā izveidojas paplašināta struktūra ar lielu gaisa kabatu un mazu blīvumu. No otras puses, ja nepietiek siltuma, lai izveidotu pietiekami daudz tvaika (vai nu ar zemu procesa temperatūru, vai ar augstu izejvielas mitrumu), izdalās mazāk tvaika, kā rezultātā tiek izveidots augsta blīvuma produkts ar sabrukušām šūnām, kuras parasti sadalās pēc atdzesēšanas tādējādi produkts neatbilst kvalitātes prasībām (Włodarczyk-Stasiak, Mazurek, & Jamroz, 2017).

Iekļaujot produktos šķiedrvielas, pamatā tiek izmainīts uzturvielu profils (mitrums un ūdens aktivitāte) un fizikālās īpašības (struktūra un tekstūra) (Brennan, Merts, Monro, Woolnough, & Brennan, 2008). Paraugu cietība un tilpummasa attēlotas 13. tabulā.

13. tabula/Table 13

Ekstrudēto produktu cietība, tilpummasa/ *Hardness, bulk density of extruded products*

Paraugs/ <i>Sample</i>	Cietība, N/ <i>Hardness, N</i>	Tilpummasa pirms ekstrūzijas, g ml⁻¹/ <i>Bulk density before extrusion, g ml⁻¹</i>	Tilpummasa pēc ekstrūzijas, g ml⁻¹/ <i>Bulk density after extrusion, g ml⁻¹</i>
K	35.55±2.95	45.62±1.22	10.85±0.85
A10	33.59±2.78	44.04±0.98	11.82±0.18
A15	22.42±4.28	43.26±0.77	14.62±0.35
A20	18.80±0.42	42.48±1.01	17.41±0.44
B10	16.28±2.80	44.74±0.44	9.71±0.07
B15	17.69±3.84	44.31±0.24	8.80±0.19
B20	19.30±3.86	43.88±0.69	13.70±0.67
K10	16.70±1.20	44.64±0.23	8.56±0.47
K15	18.95±2.35	44.16±1.02	8.13±0.04

Paraugs/ <i>Sample</i>	Cietība, N/ <i>Hardness, N</i>	Tilpummasa pirms ekstrūzijas, g ml ⁻¹ / <i>Bulk density before extrusion, g ml⁻¹</i>	Tilpummasa pēc ekstrūzijas, g ml ⁻¹ / <i>Bulk density after extrusion, g ml⁻¹</i>
K20	19.29±0.22	43.68±1.32	12.64±0.65

K - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** – paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** – paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** – paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20**- paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **A10** – *sample with 10% apple by-products*, **A15** - *sample with 15% apple by-products*, **A20** - *sample with 20% apple by-products*, **B10** - *sample with 10% carrot by-products*, **B15** - *sample with 15% carrot by-products*, **B20** - *sample with 20% carrot by-products*, **K10** - *sample with 10% pumpkin by-products*, **K15** - *sample with 15% pumpkin by-products*, **K20** - *sample with 20% pumpkin by-products*.

Neekstrudētu produktu tilpummasa ir robežās no 45.62±1.22 g ml⁻¹ kontroles paraugam un līdz 42.48±1.01 g ml⁻¹ paraugam ar 20% ābolu blakusprodukta pievienošanu. Visiem produktiem ekstrūzijas laikā notika tilpummasas samazināšanās, kas liecina, ka notikusi cietes graudu izplešanās un porainības paaugstināšanās, tomēr produktiem, kuru sastāvā blakusprodukti tika iekļauti jau 20% apmērā tilpummasa būtiski paaugstinājās ($p < 0.05$) un samazinājās apjoms.

Paraugiem, kuru sastāvā iekļāva 10% un 15% BBM, tilpummasa salīdzinājumā ar kontroles paraugu, samazinājās. Paraugiem ar 10% BBM pievienošanu tilpummasa sasniedza 9.71±0.07 g ml⁻¹ un 15% BBM līdz 8.80±0.19 g ml⁻¹. Tomēr, 20% BBM pievienošana palielināja tilpummasu līdz 13.70±0.67 g ml⁻¹.

Produktiem, kuriem tika pievienoti KBM, novēroja līdzīgu rezultātu, respektīvi, 10% KBM izraisīja tilpummasas samazināšanos, sasniedzot 8.56±0.47 g ml⁻¹, 15% KBM pievienošana samazināja ekstrudāta tilpummasu līdz 8.13±0.04 g ml⁻¹, bet jau 20% KBM palielināja tilpummasu un rezultātā tā sasniedza 12.64±0.65 g ml⁻¹, kas salīdzinot ar kontroles paraugu paaugstinājās par 16%.

Veicot datu analīzi, starp paraugiem, kam tika pievienoti blakusprodukti un kontroles paraugu, nepastāv būtiskas atšķirības ($0.05 < P = 0.08$) tilpummasas vērtībā.

Ekstrudēto izstrādājumu izplešanās un tilpummasa ir atkarīgi no izejvielu ķīmiskā sastāva (Foschia et al., 2013). Sausmaizīšu un citu ekstrudātu sastāvā esošo izejmateriālu mehāniskās īpašības ir atkarīgas no vairākiem faktoriem, piemēram, materiālam pievienoto šķiedrvielu veidu un daudzumu, cietes daudzuma un attiecībām starp amilozes un rezistentās cietes daudzumu, kā arī pašas izejvielas veids un daudzums nosaka tilpummasu arī ekstrūzijas temperatūrai ir svarīga nozīme (Turtoi & Popa, 2017). Augsts mitruma saturs, augsts diētisko šķiedrvielu daudzums, jo īpaši nešķīstošās šķiedrvielas un relatīvi zemais cietes saturs, izraisa zemāku ekstrudātu ekspansiju vienlaikus ar to arī blīvumu (Jain, Devi, & Thakur, 2013).

Pētījumā izmantotās paraugu īpašības ir ar relatīvi zemu cietes saturu, jo daļa no graudiem, tiek aizstāta ar dārzeni un augļu blakusproduktiem, kuru sastāvā ir mazs cietes saturs un olbaltumvielu saturs (Colin-Henrion et al., 2009).

Zinātnieks Huber (2001) pierādīja, ka šķiedrvielas un olbaltumvielas var pievienot līdz 20% apjomā, lai panāktu produkta apjomu un formu. Lielāku daudzumu var pievienot, ja tiek izmantotas vairāk šķīstošās šķiedrvielas un olbaltumvielas (Huber, 2001).

Nosakot ekstrudēto produktu cietību, visiem produktiem, kam tika pievienoti blakusprodukti, cietība samazinājās no 35.55±2.95N kontroles paraugā, sasniedzot 33.59±2.78N A10 paraugā, 22.42±4.28N - A15 paraugā un 18.80±0.42 - A20 paraugā.

Paraugiem, kuru sastāvā bija BBM cietība B10 samazinājās līdz 16.28±2.80N, savukārt, lielāks blakusprodukta daudzums palielināja cietību, kā rezultātā pēc 15% BBM pievienošanas rezultējās cietāks ekstrudēts produkts, respektīvi, 17.69±3.84N B15 un 19.30±3.86N B20.

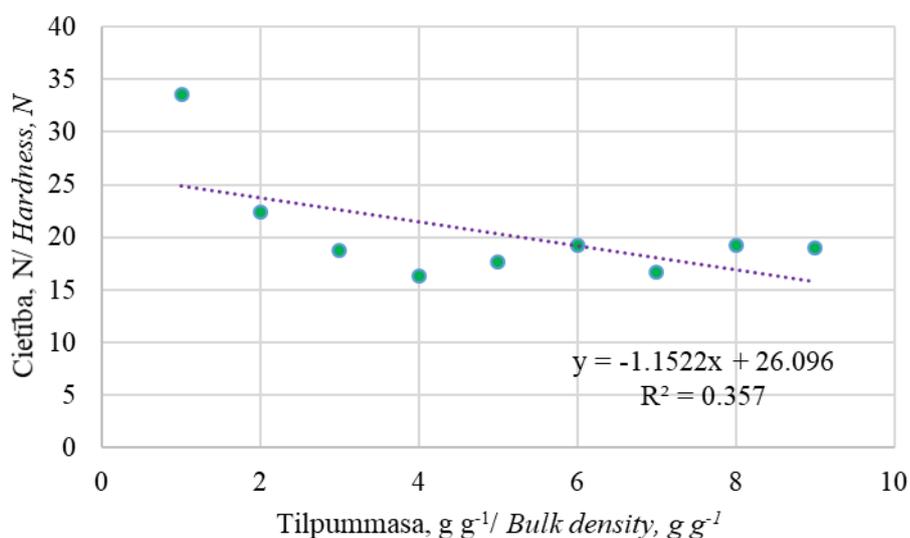
KBM pievienošana, salīdzinājumā ar kontroles paraugu, izraisīja cietības samazināšanos, bet lielāks blakusprodukta daudzums 10 līdz 20% izraisīja cietības palielināšanos. K10 cietība samazinājās līdz 16.70±1.20N, K15, savukārt K15 palielinājās līdz 19.29±0.22 un K20 sasniedza 18.95±2.35N.

Zinātnieki Foschia (2013) pierādīja, ka ekstrūzijas laikā šķiedrvielas piešķir produktiem mīkstāku struktūru (Foschia et al., 2013; Figuerola & Mar, 2005a), tomēr tas nav atkarīgs tikai no šķiedrvielu daudzuma un to šķīdības, bet arī no izejvielu citām ķīmiskajām sastāvdaļām, olbaltumvielām, cukuriem, taukiem (Konrade et al., 2017).

Iespējams, ka lielais cukura daudzums, kas ir ABM, salīdzinājumā ar BBM un KBM, izraisa arī šo atšķirīgo cietības tendenci (Masoodi & Chauhan, 1998). Lai gan zinātnieks Tako (2014) secināja, ka citu uzturvielu, piemēram, cukura pievienošana ir vajadzīga lielās koncentrācijās, lai izmainītu cietes klīsterizācijas apstākļus (Tako et al., 2014). Rezultāti parādīja, ka cukuri ietekmēja tikai retrogradācijas procesus augstā koncentrācijā (cietes-ūdens-cukura attiecība 1:10:5) (Tímea Gelencsér, 2014). Cietības pieaugums paraugiem, kam palielināja KBM un BBM iespējams, saistīts ar pievienoto KBM un BBM daudzumu un to ūdens absorbciju. Līdzīgus rezultātus norādīja pētnieki Camire, Larrea, kuri pētīja dažādu šķirņu ķirbju pievienošanu (Camire, 2011; Ajila, Leelavathi, & Prasada Rao, 2008).

Veicot datu analīzi, ūdens absorbcijas spēja izejvielās un blakusproduktos, būtiski ietekmē tādu paraugu kvalitātes rādītāju, kā cietība ($P < 0.05$).

Korelācijas grafiks starp tilpummasu un paraugu cietību attēlots 16. attēlā.



16. att. **Korelācija starp tilpummasu, $g\ g^{-1}$ un ekstrudēto paraugu cietību, N/**
Fig. 16. Correlation between bulk density, $g\ g^{-1}$ and hardness of extruded samples

Krāsa

Ieviešot jaunus pārtikas produktus ražošanā un nododot tos patērētāju vērtēšanai, viens no kvalitātes rādītājiem ir to krāsa (Delgado-Nieblas et al., 2015). Noteiktā krāsa paraugiem attēlota 14. tabulā.

14.tabula/ Table 14

**Krāsas spektru izmaiņas ekstrudētajiem produktiem/
Colour differences in extruded products**

Paraugs/ Sample	L* vērtība/ L* value	a* vērtība/ a* value	b* vērtība/ b* value	ΔE / ΔE
K	39.46±2.64	29.62±3.92	69.19±1.92	
A10	26.84±1.35	17.58±1.09	53.98±2.47	26.84
A15	20.70±2.39	15.92±2.07	48.80±1.26	27.77
A20	21.09±2.22	10.56±3.19	45.73±3.76	35.37
B10	30.79±3.40	17.02±2.45	62.15±2.93	16.84
B15	29.46±2.82	15.38±4.50	61.36±3.93	19.08
B20	21.47±2.85	12.73±3.04	53.85±3.01	29.06
K10	31.45±4.59	19.12±1.82	62.86±1.95	15.04
K15	30.17±2.27	18.58±4.60	61.77±1.99	15.86
K20	31.59±1.98	16.53±2.77	61.30±2.31	17.19

K - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** – paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** – paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** – paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20**- paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K** – control sample (80% rye flour, 20% oat flour), **A10** – sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products.

Visi ekstrudētie paraugi atrodas gaišās intensitātes zonā. Salīdzinot ar kontroles paraugu, kura L* vērtība ir 39.46±2.64, visiem eksperimentālajiem paraugiem L* vērtība samazinājās no 26.84±1.35 A10 paraugam un līdz 20.70±2.392 A20. Pastāv būtiska atšķirība ($p < 0.05$) starp paraugu blakusproduktu daudzumu un krāsas intensitāti.

Augstas temperatūras ietekme uz L* vērtības palielināšanos varētu tikt saistīta ar to, ka tiek palielinātas gaisa kabatas/ šūnas, turpretim L* vērtības samazināšanās var tikt saistīta ar to, ka augstu temperatūru ietekmē degradējas un sabrūk izejvielās esošie pigmenti (Dar et al., 2014).

Pozitīva a* vērtība liecina, ka visi paraugi atrodas sarkanajā spektra apgabalā, pozitīva b* vērtība, ka produkti atrodas dzeltenajā spektra apgabalā. Salīdzinot paraugus ar kontroles paraugu a* vērtībai bija tendence samazināties, respektīvi, pievienotā blakusprodukta daudzums samazināja sarkanās krāsas intensitāti.

ΔE vērtība, kas norāda krāsu diferenci starp kontroles paraugu un paraugiem ar pievienotiem blakusproduktiem būtiski izmainījās atkarībā no pievienoto blakusproduktu daudzuma.

Bioloģiski aktīvo vielu sastāvs un izmaiņas ekstrudēšanas procesā

Antioksidanti dārzeņos un augļos ir vitamīns C, E, fenola savienojumi, karotinoīdi, kuru bioloģiskā aktivitāte dažādu tehnoloģisko procesu un vides apstākļu iedarbības rezultātā tiek izmainīta (Pennington & Fisher, 2009).

Kopējie karotinoīdi

Karotinoīdiem ir svarīga nozīme izstrādājuma krāsas veidošanā, jo tie ir dabīgas izcelsmes pigmenti, kā arī tiem ir svarīga loma izstrādājuma uzturvērtībā (Lado et al., 2015).

Nosakot karotinoīdu daudzumu eksperimentālajām paraugiem pirms un pēc ekstrūzijas, (sk. 15. tabulu), redzam, ka, izņemot paraugus ar ābolu blakusproduktiem pievienošanu, paraugos ar burkānu un ķirbju blakusproduktu pievienošanu, kopējo karotinoīdu saturs pieaug.

15. tabula / Table 15

**Kopējo karotinoīdu saturs paraugos pirms un pēc ekstrūzijas/
Total content of carotenoids in samples before and after extrusion**

Paraugš/ Sample	Kopējie karotinoīdi pirms ekstrūzijas mg 100g ⁻¹ / Total content of carotenoids before extrusion, mg 100g ⁻¹	Kopējie karotinoīdi pēc ekstrūzijas, mg 100g ⁻¹ / Total content of carotenoids after extrusion, mg 100g ⁻¹
K	1.11±0.03d	0.04±0.02
A10	1.03±0.16d	0.06±0.01e
A15	0.99±0.12d	0.04±0.01e
A20	0.94±0.08d	0.02±0.01e
B10	7.81±0.87c	0.17±0.03e
B15	11.16±1.24b	0.38±0.02d
B20	14.50±1.88a	0.54±0.04d
K10	10.13±1.97b	3.71±0.49cb
K15	14.64±2.23a	4.86±0.66ba
K20	19.14±2.08a	6.89±0.45a

K - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K** - control sample (80% rye flour, 20% oat flour), **A10** - sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products. Paraugi, kuru apzīmējumos iekļauti vienādi burti, to īpašības būtiski neatšķiras ($p > 0.05$), savukārt atšķirīgu burtu apzīmējums norāda, ka to īpašības ir būtiski atšķirīgas ($p < 0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=3$) / Similar letters (a, b, c) indicate no significant difference among samples ($p > 0.05$). The data is presented as a mean ($n=3$).

Kontroles paraugā, ekstrūzijas laikā, kopējais karotinoīdu daudzums samazinājās no 1.11±0.03 līdz 0.04±0.02 mg 100g⁻¹. Paraugiem ar ābolu blakusproduktu pievienošanu, kopējais karotinoīdu daudzums samazinājās. A10 kopējais karotinoīdu daudzums bija 0.06±0.01 mg 100g⁻¹, A15 - 0.04±0.01 mg 100g⁻¹, savukārt, paraugam, kura sastāvā tika iekļauti 20% ābolu blakusproduktu milti, kopējais karotinoīdu daudzums samazinājās līdz 0.02±0.01 mg 100g⁻¹.

Karotinoīdu satura svārstības paraugos ar ābolu blakusproduktiem var izskaidrot ar atšķirīgo kopējo karotinoīdu saturu izejvielās. Tika noteikti kopējie karotinoīdi, bet termiskās apstrādes laikā citi karotinoīdi izmaina savu aktivitāti, piemēram, luteīns, zeaksantīns, α -karotīns, 9-Cis- β -karotīns un 13-Cis- β -karotīns ir kopējo karotinoīdu diapazonā. Luteīns, piemēram, ir jutīgāks pret augstām temperatūrām. Karotinoīdu jutīgums lielā mērā ir atkarīgs no to avota (Obradović et al., 2015). Pēc literatūras datiem, lielākie karotinoīdu zudumi notiek augstu temperatūru ietekmē, kad iesaistās enzimatiskā un neenzimatiskā oksidācija, kad karstuma ietekmē tiek veicināta trans-karotinoīdu izomerizācija cis-formās, kā rezultātā mainās karotinoīdu bioloģiskā aktivitāte.

Līdzīgi rezultāti, tika iegūti, pētot ābolu pievienošanu marmelādes ražošanā, kad zinātnieki Kampuse u.c., pētīja marmelādē esošos karotinoīdus un zinātnieki iesaka samazināt apstrādes laikus un temperatūru, lai maksimāli saglabātu produktos esošos karotinoīdus (Berņa, Kampuse, Straumīte, & Mūrniece, 2013).

Dažādu šķirņu ķirbji parasti satur α -karotīnu un β -karotīnu, kas ir dabīgi pigmenti (Seo, Burri, Quan, & Neidlinger, 2005). To degradācija temperatūru iedarbībā tika pierādīta vairākos pētījumos (Waramboi, Gidley, & Sopade, 2013; Waramboi et al., 2013; Emin, Mayer-Miebach, & Schuchmann, 2012). Skābekļa koncentrācijai ir lielāka ietekme uz β -karotīna stabilitāti nekā augstai temperatūrai. Kad

β -karotīns tiek karsēts un pakļauts gaisa iedarbībai, papildus tā degradācijai notiek arī polimerizācija (Qiu, Chen, & Li, 2009; Dutta, Dutta, Raychaudhuri, & Chakraborty, 2006).

Paraugiem, kuru sastāvā iekļāva burkānu un ķirbju blakusproduktus, kopējais karotinoīdu daudzums pieauga atkarībā no pievienotā blakusprodukta daudzuma, lai gan ekstrūzijas temperatūru ietekmē tie samazinājās pat 40 reizes, respektīvi, pirms ekstrūzijas, paraugos B10 no 7.81 ± 0.87 līdz 0.17 ± 0.03 mg 100g^{-1} , B15 no 11.16 ± 1.24 līdz 0.38 ± 0.02 mg 100g^{-1} , B20 no 14.50 ± 1.88 līdz 0.54 ± 0.04 mg 100g^{-1} .

Paraugiem ar KBM kopējais karotinoīdu daudzums ekstrūzijas laikā izmainījās K10 no 10.13 ± 1.97 mg 100g^{-1} līdz 3.71 ± 0.49 mg 100g^{-1} , K15 no 14.64 ± 2.23 līdz 4.86 ± 0.66 mg 100g^{-1} , un K20 no 19.14 ± 2.08 līdz 6.89 ± 0.45 mg 100g^{-1} .

Pastāv būtiskas atšķirības starp paraugiem, kam tika pievienoti ABM un BBM vai KBM. To varētu izskaidrot ar atšķirīgo karotinoīdu sastāvu. α -karotīns ir pigments, ko parasti satur dažāda veida ķirbji (Seo et al., 2005). Iepriekšējie pētījumi neuzrāda datus par ekstrūzijas ietekmi uz šo pigmentu. 13-cis- β -karotīns var parādīt līdzīgu aizturi kā α -karotīns (Obradović, Babić, Šubarić, Ačkar, & Jozinović, 2014). Ekstrudāti, kas iegūti dažādās ekstrūzijas temperatūrās no $+110$ līdz $+140^\circ\text{C}$, parādīja, ka paraugi, ko ekstrudēja pie $+120$, $+130$ un $+140^\circ\text{C}$, izraisīja funkcionālo komponentu, piemēram, β -karotīna, lielāku noārdīšanos (Dar et al., 2014; Wójtowicz et al., 2015).

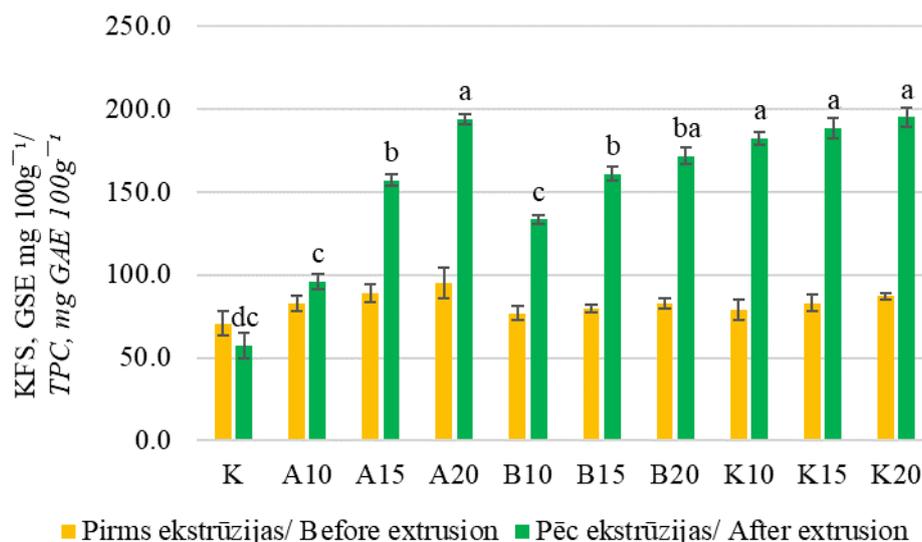
Kopējo fenolu (KFS) saturs

Fenolu savienojumi pārtikā ietekmē pārtikas produktu īpašības, kā piemēram, garšu, viskozitāti un struktūrmehāniskās īpašības. Flavonoīdi paaugstina uzturvērtību, nodrošina antioksidanta īpašības, kuras nosaka fenola uzbūve (Olfe et al., 2003). Antociānu pigmenta saturam ir izšķiroša loma produktiem ar augļiem un dārzeņiem krāsas veidošanā.

Pārtikas sistēmās fenolu savienojumi darbojas kā antioksidanti, kavējot lipīdu peroksidāciju un sekundāro oksidēšanās produktu veidošanos, palīdzot saglabāt garšu, smaržu krāsu uzglabāšanas laikā (Yan & Kerr, 2013).

Augļu un dārzeņu pārstrāde ietekmē fenolu saturu (Oszmianski et al., 2011; Bourvellec et al., 2011). Polifenolu saturs ābolu sulā mainās ābolu smalcināšanas un presēšanas laikā, un tas galvenokārt saistīts ar sulas oksidāciju fermenta polifeniloksidāzes ietekmē, kā arī termiskā iedarbība ietekmē fenolu saturu (Boyer un Liu, 2004).

KFS satura izmaiņas ekstrūzijas laikā paraugos attēlotas 17. attēlā.



GSE - gallusskābes ekvivalents/ GAE - galusacid equivalent.

K - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K** - control sample (80% rye flour, 20% oat flour), **A10** - sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products. Paraugi, kuru apzīmējumos iekļauti vienādi burti (a, b, c, d), to īpašības būtiski neatšķiras ($p>0.05$), savukārt atšķirīgu burtu apzīmējums norāda, ka to īpašības ir būtiski atšķirīgas($p<0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=3$) / Similar letters (a, b, c, d) indicate no significant difference among samples ($p>0.05$). The data is presented as a mean ($n=3$).

17. att. **KFS saturs paraugos pirms un pēc ekstrūzijas/**
Fig.17. TPC content in extruded samples before and after extrusion

Kontroles paraugam, kura sastāvā netika iekļauti blakusprodukti, kopējo fenolu saturs (KFS) pēc ekstrūzijas samazinājās. Kopējā fenola satura samazināšanās var būt saistīta ar fenola savienojumu sadalīšanos augstās ekstrūzijas temperatūras dēļ. Dažādu antioksidantu iedarbību pētīja zinātnieki Kumar un Sharma, un ziņoja par ievērojamu kopējo fenolu satura samazināšanos miežu miltu ekstrūzijas laikā (K. Kumar, Jindal, Sharma, & Nanda, 2013; A. Sharma et al., 2008).

Visos paraugos ar blakusproduktu pievienošanu pieauga kopējo fenolu saturs, tomēr būtisku atšķirību starp pievienotā blakusprodukta veidu nav ($p>0.05$). Pievienojot rudzu un auzu miltiem blakusproduktus, tika panākta TPC satura palielināšanās pat par 300%.

Paraugos, kam tika pievienoti ABM KFS saturs sasniedza 193.20 GSE mg 100g⁻¹.

Ekstrūzijas laikā KFS izmainījās visos paraugos, tomēr paraugiem, kuru sastāvā iekļauti blakusprodukti, KFS samazināšanās nebija būtiska, piemēram, A10 un A15 pēc ekstrūzijas KFS izmaiņas būtiski neatšķirās, savukārt jau A20 bija vērojama strauja KFS satura paaugstināšanās.

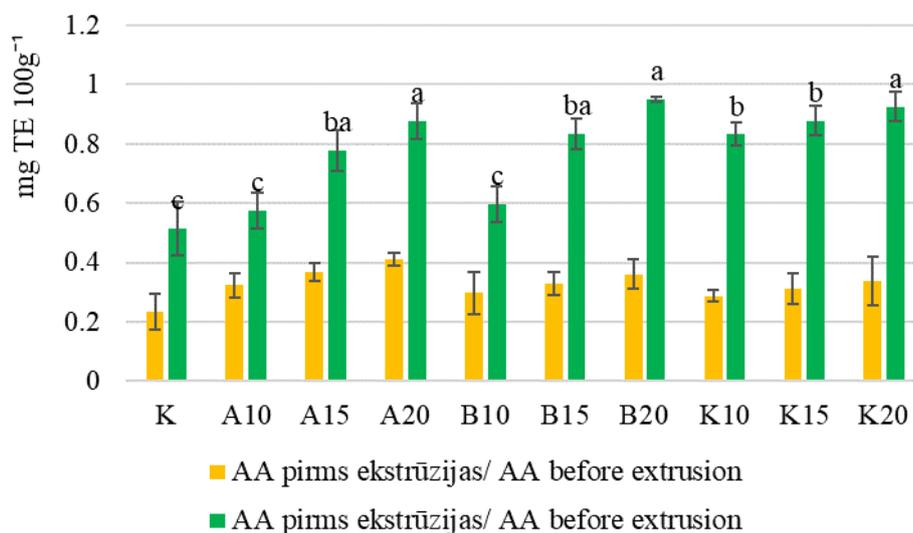
Tas, iespējams, izskaidrojams ar ābolu blakusproduktu ķīmisko sastāvu, kuros bija iekļauti gan izspaidi, gan mizas, gan arī sēklas, kuras, kā zināms ir ļoti koncentrēts bioloģiski aktīvo vielu avots. Pēc zinātnieku Xu un līdzautoru (2015) veiktā pētījuma, ābolu sēklām bija augstāka antioksidanta aktivitāte nekā mizām vai mīkstumam, antioksidanta aktivitāte sēklās svārstījās no 57.59 līdz 397.70 mg TE g⁻¹ (Xu et al., 2015).

Augsta temperatūra un mitruma saturs veicina fenolu polimerizāciju, kuru ietekmē tiek izmainīta arī antioksidantu aktivitāte.

Antiradikālā aktivitāte (DPPH)

Fenolu savienojumiem ir ļoti tieša ietekme uz antiradikālo aktivitāti, kas ir atkarīga no oksidācijas pakāpes. Daļēji polimerizējušies fenoli ir spēcīgāki antioksidanti, taču pēc noteiktas pakāpes molekulas kompleksitātes sasniegšanas, to aktivitāte samazinās (Priecina & Karklina, 2014; Nayak et al., 2011). Uzglabāšana, termiskais un tehnoloģiskais process, kā arī produktu sasmalcināšana ietekmē antiradikālo aktivitāti, jo savienojumi viegli oksidējas (Henr et al., 2010).

Antiradikālā aktivitāte produktos pirms un pēc ekstrūzijas attēlota 18. attēlā. Visos paraugos antiradikālā aktivitāte pirms ekstrūzijas pieauga atkarībā no pievienotā blakusprodukta daudzuma.



AA - Antiradikālā aktivitāte/ *Antiradical activity*, **TE** - Troloksa ekvivalenti/ *Trolox equivalents*, **K** - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ **K** - control sample (80% rye flour, 20% oat flour), **A10** - sample with 10% apple by-products, **A15** - sample with 15% apple by-products, **A20** - sample with 20% apple by-products, **B10** - sample with 10% carrot by-products, **B15** - sample with 15% carrot by-products, **B20** - sample with 20% carrot by-products, **K10** - sample with 10% pumpkin by-products, **K15** - sample with 15% pumpkin by-products, **K20** - sample with 20% pumpkin by-products. Paraugi, kuru apzīmējumos iekļauti vienādi burti (a, b, c), to īpašības būtiski neatšķiras ($p > 0.05$), savukārt atšķirīgu burtu apzīmējums norāda, ka to īpašības ir būtiski atšķirīgas ($p < 0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=3$) / Similar letters (a, b, c) indicate no significant difference among samples ($p > 0.05$). The data is presented as a mean ($n=3$).

18. att. Antiradikālā aktivitāte paraugos (DPPH metode)/

Fig.18. Antiradical activity of samples (DPPH method)

Antiradikālās aktivitātes pieaugums skaidrojams ar augsto antioksidācijas spēju un bioloģiski aktīvo vielu saturu augļu un dārzeņu blakusproduktos, kuri pēc daudzu zinātnieku pētījumiem ir atšķirīgi atkarībā no auga daļas, piemēram, sēklās vai mizā, kā arī no fenolu savienojumiem un karotinoīdiem.

Visstraujākā antioksidantu aktivitāte pieauga paraugos ar ABM un BBM: Tas sakrīt arī ar literatūras daļā apskatītajiem datiem par to, ka burkānu mizās, piemēram, antiradikālā aktivitāte ir visaugstākā (Arscott & Tanumihardjo, 2010).

Visiem ekstrudētiem paraugiem ar blakusproduktu pievienošanu, korelācija starp paraugu grupām pirms ekstrūzijas un pēc ekstrūzijas bija ļoti spēcīga ($0.91 < r < 0.99$ ($p < 0.05$)), paraugiem ar burkānu BBM korelācija starp TPC pēc ekstrūzijas un DPPH pēc ekstrūzijas bija mērena ($r=0.77$)

16. tabulā apkopoti korelācijas koeficienti starp KFS un antiradikālo aktivitāti paraugos gan pirms gan pēc ekstrūzijas.

Korelācija starp KFS un antiradikālo aktivitāti
Correlation between TPC and antiradical activity

Korelācija starp grupām/ <i>Correlation between groups</i>	Paraugi ar ABM/ <i>Samples with ABM</i>	Paraugi ar BBM/ <i>Samples with BBM</i>	Paraugi ar KBM/ <i>Samples with KBM</i>
KFS pirms/ KFS pēc/ <i>TPC before/ TPC after</i>	0.95	0.91	1.00
KFS pirms/ AA pirms / <i>TPC before/ AA before</i>	0.98	0.98	0.99
KFS pēc/ AA pēc ekstr/ <i>TPC after/ AA after</i>	0.99	0.77	0.98
AA pirms/ AA pēc/ <i>AA before/ AA after</i>	0.99	0.94	0.99

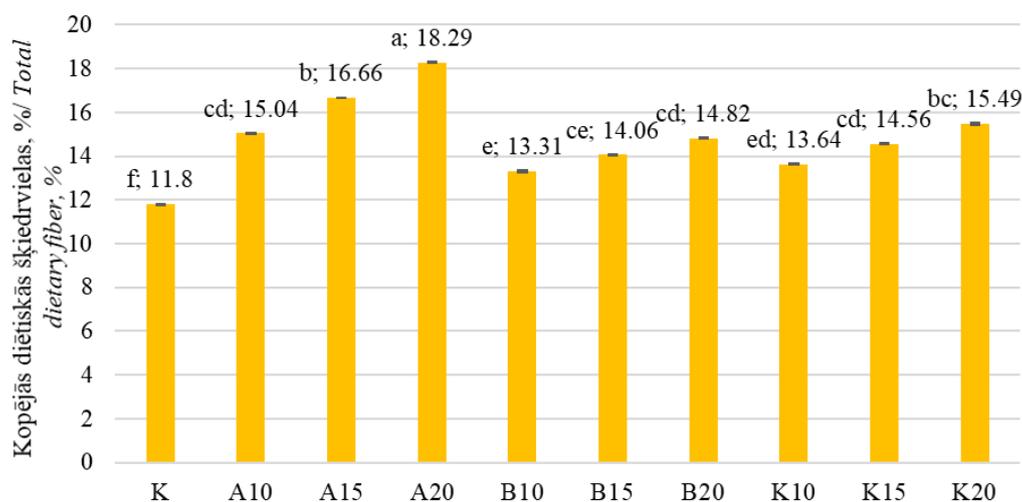
AA – Antiradikālā aktivitāte/ *Antiradical activity*, KFS/ TPC – kopējais fenolu saturs/ *Total phenolics content*.

Kopējās diētiskās šķiedrvielas

Rudzu un auzu milti, jo īpaši, pilngraudi, ir šķiedrvielu avots, ko izmanto pārtikas rūpniecībā, lai pagatavotu produktus ar paaugstinātu uzturvērtību. Kā redzam no 1. posma pētījuma, tad arī augļu un dārzeņu blakusprodukti ir vērtīgs šķīstošo un nešķīstošo šķiedrvielu avots, kas satur pat par 200-300% vairāk kopējās diētiskās šķiedrvielas kā rudzu un auzu milti.

To pievienošana kontroles paraugam izmainīja šķiedrvielu saturu

Noteikto kopējo diētisko šķiedrvielu saturs ekstrudētajos paraugos attēlots 19. attēlā.



K - kontroles paraugs, 80% rudzu milti, 20% auzu milti, **A10** - paraugs ar 10% ābolu blakusproduktiem, **A15** - paraugs ar 15% ābolu blakusproduktiem, **A20** - paraugs ar 20% ābolu blakusproduktiem, **B10** - paraugs ar 10% burkānu blakusproduktiem, **B15** - paraugs ar 15% burkānu blakusproduktiem, **B20** - paraugs ar 20% burkānu blakusproduktiem, **K10** - paraugs ar 10% ķirbju blakusproduktiem, **K15** - paraugs ar 15% ķirbju blakusproduktiem, **K20** - paraugs ar 20% ķirbju blakusproduktiem/ *K - control sample (80% rye flour, 20% oat flour), A10 - sample with 10% apple by-products, A15 - sample with 15% apple by-products, A20 - sample with 20% apple by-products, B10 - sample with 10% carrot by-products, B15 - sample with 15% carrot by-products, B20 - sample with 20% carrot by-products, K10 - sample with 10% pumpkin by-products, K15 - sample with 15% pumpkin by-products, K20 - sample with 20% pumpkin by-products*. Paraugi, kuru apzīmējumos iekļauti vienādi burti (a, b, c, d, e, f), to īpašības būtiski neatšķiras ($p > 0.05$), savukārt atšķirīgu burtu apzīmējums norāda, ka to īpašības ir būtiski atšķirīgas ($p < 0.05$). Dati uzrādīti kā vidējās vērtības ($n=3$)/ *Similar letters (a, b, c, d, e, f) indicate no significant difference among samples ($p > 0.05$). The data is presented as a mean ($n=3$).*

19. att. **Kopējās diētiskās šķiedrvielas ekstrudētajos paraugos, TDF/**
Fig. 19. Total content of dietary fibre in extruded samples, TDF

Visos paraugos, kam tika pievienoti blakusprodukti, TDF saturs palielinājās, salīdzinājumā ar kontroles paraugu K, kam TDF bija $11.80 \pm 1.14\%$, paraugam A20 - TDF saturs sasniedza $18.29 \pm 2.33\%$, B20 paraugam TDF saturs sasniedza $14.82\% \pm 1.54$ un paraugam K20 - TDF daudzums sasniedza 15.49% sausnas.

Salīdzinot rezultātus ar kontroles paraugu redzam, ka produktiem, kam pievienoti blakusprodukti kopējo diētisko šķiedrvielu saturs ir virs 6% , līdz ar to pēc Eiropas regulas Nr. 1924/2006/EC par uzturvērtības un veselīguma norādēm uz pārtikas produktiem tos var iedalīt grupā pie produktiem, kam ir palielināts šķiedrvielu saturs⁴.

Veicot vienfaktora dispersijas analīzi un korelāciju starp diētisko šķiedrvielu daudzumu izejvielās un WAI, redzam ka pastāv vidēji cieša korelācija starp TDF un WAI, $r = 0.67$.

Veicot datu analīzi, starp TDF daudzumu paraugos ar ABM un cietību pastāv cieša korelācija, un pievienotā blakusprodukta daudzums samazina cietību, paraugiem, kuru sastāvā ir BBM, korelācija starp TDF un cietību ir vidēji cieša $r = 0.42$, paraugiem ar KBM korelācija starp TDF un cietību ir vidēji cieša $r = 0.53$ (Arhipova, 2006).

Aprēķinot korelācijas koeficientu, pastāv cieša korelācija starp TDF un tilpummasu ($r = 0.72$)

17. tabulā atspoguļoti Pīrsona korelācijas koeficienti starp WAI, cietību, tilpummasu un kopējo diētisko šķiedrvielu saturu paraugos.

17. tabula/ Table 17

**Pīrsona korelācijas koeficienti starp paraugu rādītājiem/
Pearson correlation coefficients between sample rates**

Paraugu rādītāji/ Sample Indicators	WAI pirms ekstrūzijas/ WAI before extrusion	Cietība/ Hardness	Tilpummasa pēc ekstrūzijas/ Bulk density after extrusion	TDF/ TDF, %
WAI pirms ekstrūzijas/ WAI pirms extrusion	1.00	-0.37	0.58	0.59
Cietība/ Hardness, N	-0.06	1.00	0.08	-0.25
Tilpummasa pēc ekstrūzijas/ Bulk density after extrusion	0.56	0.08	1.00	0.7
TDF/ TDF, %	0.58	-0.28	0.72	1.00

Veicot datu analīzi, starp paraugu cietību un ūdens absorbcijas spēju WAI nepastāv korelācija ($r = -0.06$), WAI neietekmē paraugu cietību ekstrūzijas laikā, savukārt vidēja korelācija pastāv starp tilpummasu un WAI ($r = 0.56$), kā arī kopējo diētisko šķiedrvielu saturs paraugos to cietību ietekmē mēreni WAI ($r = 0.58$), savukārt kopējais diētisko šķiedrvielu saturs korelē ar produktu tilpummasu pēc ekstrūzijas ($r = 0.72$).

⁴ <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1924/oj/?locale=LV>, skatīts 20.04.2019

SECINĀJUMI

1. Pēc ābolu, burkānu un ķirbju blakusproduktu kaltēšanas mikroviļņu-vakuuma (MV) kaltē to fizikāli ķīmiskie, sensorie un mikrobioloģiskie rādītāji piemēroti ekstrūzijai:
 - Blakusproduktu mitrums 3.27-6.14%, ūdens aktivitāte $a_w=0.35-0.51$, mikroorganismu attīstība nenotiek;
 - Ūdens absorbcija blakusproduktiem ir 5.6-7.8 g g⁻¹;
 - Tumšākā krāsas intensitāte $L^*=26.83\pm 1.04$ ir kaltētos ābolu blakusproduktos, ko veicinājusi fermentatīvā oksidācija; dzeltenās un sarkanās krāsas intensitāte izteiktāka novērota kaltētu burkānu un ķirbju blakusproduktos, kas korelē ar kopējo karotinoīdu saturu;
 - Kaltēti ķirbju blakusprodukti satur vairāk karotinoīdu (91.28 mg 100 g⁻¹), savukārt augstākais kopējo fenolu saturs (191.90 ± 12.45 mg GSE 100g⁻¹) un antiradikālā aktivitāte (1.11 ± 0.08 mmol TE 100g⁻¹) (DPPH metode) bija kaltētos ābolu blakusproduktos.
2. Izmantojot vienas vītnes ekstrudieri ar tehnoloģiskajiem parametriem $T=83\pm 2^\circ\text{C}$ līdz $124\pm 2^\circ\text{C}$, vītnes griešanās ātrumu no 600- 800 apg min⁻¹, tika iegūti paraugi ar neatbilstošām sensorajām īpašībām.
3. Paaugstinot ekstrūzijas temperatūru ($T=120-160^\circ\text{C}$) un vītnes griešanās ātrumu (1300-1500 apg min⁻¹) divvītņu ekstrudieri, iespējams iegūtsensorajām īpašībām atbilstošu ekstrudētu produktu ar dārzeņu un augļu blakusproduktiem.
4. Paraugiem ar dažādu pievienoto blakusproduktu daudzumu pastāv būtiskas atšķirības sensoro īpašību vērtējumā; augstākais vērtējums ir paraugiem ar 15% ābolu, burkānu vai ķirbju blakusproduktiem;
5. Krāsas ziņā nepastāv būtiskas atšķirības starp paraugiem, kuru sastāvā pievienoti burkānu un ķirbju blakusprodukti, savukārt, paraugā ar ābolu blakusproduktiem krāsu intensitāte ir būtiski atšķirīga (tumšāka), salīdzinot ar kontroles paraugu.
6. Ekstrudētajos produktos ar pievienotiem blakusproduktiem mitruma saturs samazināts līdz 4%, ūdens aktivitāte līdz 0.31, palielināts apjoms (samazināta tilpummasa līdz 8.13 g 100 ml⁻¹) un augstāka ūdens absorbcija (5.03 g g⁻¹), salīdzinot ar kontroles paraugu, šādi rādītāji atbilst optimāliem ekstrudētu produktu parametriem.
7. Paraugam ar ķirbju blakusproduktiem, būtiski palielinājās kopējo karotinoīdu saturs līdz 6.89 ± 0.45 mg 100g⁻¹ salīdzinājumā ar kontroles paraugu. Kopējais fenolu saturs pieauga līdz 195.10 ± 11.82 mg GSE 100 g⁻¹, antiradikālā aktivitāte līdz 0.93 ± 0.04 TE mg⁻¹ un kopējo diētisko šķiedrvielu saturs pieauga visos paraugos ar dārzeņu un augļu blakusproduktiem līdz 18.29%.
8. Pētījumā iegūtie rezultāti apstiprina hipotēzi, ka dārzeņu un augļu blakusproduktus iespējams izmantot ekstrudētu produktu ar paaugstinātu bioloģiski aktīvo vielu saturu ražošanā.

ACTUALITY OF RESEARCH

In vegetable and fruit processing industry, by-products such as peel, pomace, corn, duck and seeds are produced. They contain biologically valuable compounds, e.g., fiber, vitamins and antioxidants, trace elements and organic acids. Many researchers report the positive role of fiber and antioxidants on the functions of human body. Balanced nutritional, safe and healthy foods with a pleasant taste are still in demand. Oats and rye are traditionally high-quality Latvian-grown cereals, mainly used in the manufacture of bread, pastry and extruded products such as breadcrumbs and breakfast cereals. Inclusion of vegetable and fruit by-products in the raw materials used in the production of extruded products from rye or oat flour would be a solution in creating a new line of extruded products with a biologically active compound content.

Daiga Konrade Doctoral Thesis “**Vegetable and fruit by-products for development of extruded products**” was developed from 2014 to 2018 at the Laboratory of Food Technology, Faculty of Food Technology, Microbiology Laboratory, Bread Technology Laboratory, Sensory Laboratory. Consumer survey was conducted at the International Food Exhibition Riga Food 2017 in September 2017.

Hypothesis of the Doctoral Thesis: By using vegetable and fruit by-products, it is possible to increase the content of biologically active compounds in extruded products.

Object of the study: apple, carrot and pumpkin by-products, extruded rye and oat products containing dried apple, carrot and pumpkin by-products.

Aim of the Doctoral Thesis: To study the use of dried by-products that occur as a result of processing apples, carrots and pumpkin in the production of new extruded products.

The following **tasks** have been set for achieving the goal:

1. to analyze the physico-chemical, sensory and microbiological indicators of dried apple, carrot, pumpkin by-products;
2. to determine the type of extrusion and the amount of possible by-product to be added to rye and oat samples;
3. extrusion of the experimental samples;
4. to analyze qualitative indicators of the new product with added apple, carrot and pumpkin by-products:
 - to evaluate the sensory properties of extruded products with apple, carrot and pumpkin by-products;
 - to analyze physico-chemical indicators;
 - to analyze the composition of biologically active substances in extruded products.

Novelty and scientific significance

1. For the first time in Latvia studies on the use of vegetable and fruit by-products in extrusion;
2. As a result of the research, the technological parameters of the extrusion process are determined using vegetable and fruit by-products, their impact on the quality of the finished product;
3. The results of the research included in the doctoral thesis demonstrate the total phenol content, antiradical activity. extruded products.

The economic significance of the research

1. A solution has been found for the use of extruded by-products of apple, carrot and pumpkin by-products, increasing the content of biologically active substances in extruded cereal products and significantly reducing raw material losses in vegetable and fruit processing.
2. Innovative extruded products have been developed on a Latvian scale, combining grain and vegetable / fruit processing by-products, which have been tested under industrial production conditions.

3. Extruded cereal products by adding vegetable / fruit by-products would increase the range of products with higher biologically active substances.

The thesis is structured in three chapters:

Chapter 1 Characterization of the problem, reflecting the problems of Latvia and Europe in the use of zero-waste technologies in vegetable and fruit processing. Extrusion process and products used, impact of chemical composition of extrusion materials on the physico-chemical parameters of the final product, chemical composition of vegetables and fruit by-products, rye and oats.

Chapter 2 Characteristics of Materials, Standard Methods and Data Processing in the Doctoral Thesis.

Chapter 3 Results on the effects of apple, carrot and pumpkin by-product microwave drying on physico-chemical and microbiological parameters.

APPROBATION OF SCIENTIFIC WORK

Research results have been summarized and published in peer-reviewed and scientific publications indexed in international databases.

The results of the study have been presented and reported at 8 international scientific conferences in Latvia, Lithuania, the Czech Republic, Switzerland and Estonia.

MATERIALS AND METHODS

Time and place of research

The study was conducted over the period 2014-2018 year. Product development and analysis: Latvia University of Life sciences and Technologies, Faculty of Food Technology:

- Experimental extrusion of products in the Bread Laboratory of the Department of Food Technology
- Physical-chemical characteristics of products in the Scientific laboratory
- Microbiological parameters in the Microbiological laboratory have been determined.
- The sensory properties of experimental products have been determined in the Sensory analysis laboratory.

Development of extruded products by SIA “Milzu”.

Products acceptance of consumers was evaluated in International Exhibition Center Ķīpsala, International Food Exhibition *Riga Food 2017*.

Characteristics of the products and raw materials used in the study

Used apple by-products, carrot by-products and pumpkin by-products obtained after peeling and squeezing juices in production and catering establishments, as well as oatmeal and rye flour are summarized in Table 1.

Structure of the study

Structure of the research is presented at figures 1. – 3.

Methods used in the study

Methods used in physico-chemical. microbiological indicators are summarized in Table 2.

Mathematical processing of data

Mathematical analysis of data was performed using MS Excel Data Analysis, ANOVA, single-factor correlation analysis.

The proposed hypotheses were tested by the p-value method and the factors were evaluated as significant if $p\text{-value} < \alpha = 0.05$. For interpretation of the results, it is assumed that $\alpha = 0.05$ with 95% confidence, unless stated otherwise.

Correlation and regression analysis are used to evaluate the interrelation of different features. If the value of the correlation coefficient is $0.5 \leq (r) \leq 0.8$, there is a moderately linear relationship between the investigated features. If $(r) > 0.8$, there is a close linear relationship between the features under investigation (Arhipova and Bălița, 2003).

In the variance analysis, the Tukey test was used to compare the differences between the test samples to compare the values and the Friedman test.

The following scores were calculated for all results:

Average arithmetic and standard deviation to indicate scattering of results.

RESULTS AND DISCUSSION

Qualitative indicators of by-products

Moisture

The high moisture content (78.9-88.5%) of fresh fruit and vegetable by-products limits their long-term storage and use as raw material for the production of other products, and the by-products are a good environment for yeasts and molds, which is also determined by water activity that characterizes water availability for biological processes.

By-product drying was done by microwave vacuum dryer Muson 1, using the drying parameters of the vacuum microwave: pressure (70-50 mmHg), rotation speed $v=6$ min, one working cycle and three steps.

The by-product moisture before drying was $78.9 \pm .0\%$ in apple by-products, $82.4 \pm 0.8\%$ in carrot by-products, $85.5 \pm 1.2\%$ in pumpkin by-products.

The moisture content after drying with microwave-vacuum forged by-products reached $5.36 \pm 0.01\%$, in carrot by-products $3.27 \pm 0.02\%$, in pumpkin by-products $6.14 \pm 0.02\%$. The moisture content of rye flour was $6.29 \pm 0.02\%$ and of oat flour $9.86 \pm 0.02\%$. The moisture content of the by-products is significantly reduced ($p = 0.01$). During the drying of the by-products, a significant decrease in humidity ($P < 0.05$) was observed, up to 17-20 times.

Water activity

Water activity after drying reached 0.42 ± 0.01 apple by-products, 0.35 ± 0.01 carrot by-products, 0.51 ± 0.01 pumpkin by-products.

To characterize the state of water available for use in micro-organisms for use in food and to demonstrate the dependence of microorganisms on growth, water activity is defined as the ratio of free, partial fraction of water in the product to p and theoretically possible saturated vapor pressure p_0 (Leff & Fierer, 2013).

Numerically a_w is between 0.00 and 1.00 and is defined as a microbiological hazard parameter for many foods and as a growth limiting factor for many groups of microorganisms. Products containing free water will only release moisture into the air in the form of steam if the vapor pressure in the air is below the vapor pressure of the product.

For most foods, the water activity is above 0.95 and provides sufficient moisture to grow bacteria, yeast and mold.

If the food's water activity in the finished product is controlled to 0.85 or less, it inhibits the growth of organisms, and water activity affects the stability of food during storage.

Water activity 0.48 ± 0.01 rye flour and 0.45 ± 0.01 oat flour.

Water activity in a_w , products ranged from 0.82 to 0.87, divided into a food group with high ($a_w > 0.85$) water activity, eg so-called "wet products", which are considered a good environment for microorganisms and bacteria to grow.

To be able to store the by-products until they are added to the raw materials (rye and oat flour), they need to be dried.

The results show that low humidity and water activity are suitable for storing dried by-products until they are added to new products, and that a_w is scaled down ($a_w < 0.6$), which then limits or prevents further growth of microorganisms and bacteria. growth and / or development.

pH value

The pH value is an important indicator of food products, and it affects not only the safety of food storage but also the technological processes.

Water absorption

The highest ability to bind water was determined by ABM and KBM in determining water absorption.

According to scientists Inglett (2013) and Kohajdová (2011), the different WAI values are related to the different chemical composition of the by-products, dietary fiber, sugars, as well as the protein and starch content of the products (Inglett, Chen, Xu, & Lee, 2013; Kohajdová et al., 2011; Campus, 2011).

Scientist Arscott (2010) stated that insoluble fiber has a higher water absorption capacity, glucose adsorption capacity and amylase excitation / inhibitory capacity than cellulose and other fruit and vegetable fiber (Arscott & Tanumihardjo, 2010). Relatively, the content of insoluble fiber in apple by-products ($36.50 \pm 1.14\%$). however, water absorption is not unambiguously dependent only on the fiber content, but on other nutrients such as sugars, which are 10.39-11.10 g per 100 g of apples and their by-products (Aguedo et al., 2012; Li et al., 2002)

Microbiological indications

The total number of mesophilic aerobic and optional anaerobic (MAFA) bacteria in by-products after drying ranged from 2.5g CFU g^{-1} to 5.5g CFU g^{-1} , rye and oat flour was up to 5.5g CFU g^{-1} (Table 4).

The number of lactic acid bacteria has been identified from 2.5g CFU g^{-1} to 5.50 ± 0.04 g CFU g^{-1} and does not exceed EC regulation

Total number of yeasts 2.51g CFU g^{-1} to 5.51g CFU g^{-1} .

The total number of molds was not found in the by-products, as well as in rye and oat flour.

Microbiological readings do not exceed EC Regulation (EC) No 1049/2001. 2073/2005.

The reduced moisture content and low water activity of the by-products as a result of microwave power, temperature exposure and drying make it possible to reduce microbiological contamination to acceptable levels and to be used as raw material in the food industry.

Biologically active substances and antiradical activity

Total carotenoids

The total content of carotenoids in fresh by-products depends on many factors - variety, weather, geographical location.

As the results of MV drying show (Figure 4), after drying, the content of TCC in all by-products has decreased.

The analysis of carotenoid content showed that there are significant differences between their content in fresh apple by-products and pumpkin and carrot by-products ($p < 0.05$). The highest carotenoid content was found in carrot and pumpkin by-products and there was no significant difference between them ($p > 0.05$).

Microwave-vacuum drying resulted in a reduction of total content of carotenoids in all by-products. The most significant reduction is in apple by-products.

The carotenoid content may decrease as a result of thermal exposure, as well as the availability of oxygen and light during the technological process (Priečina & Karklina, 2014). However, compared to

the scientists' campus study of pumpkin drying with convection chisel, the content of MV was higher during drying (Kampuse, Ozola, Straumite, & Galoburda, 2015).

Total phenolics content, TPC and antiradical activity (DPPH)

The content of phenolics in the raw materials is an important indicator, as the phenols are responsible for the bitter and astringent taste, which in a further study could limit the use of by-products in extrusion.

The content of phenols depends not only on the plant variety, the region, but also on the part of the plant.

The content of phenols in by-products and raw materials is shown in Figure 5.

The analysis of the total phenolic content (TPC) of the dried by-products showed that the highest KFS was in the flour of apple by-products. Scientists, studying apples of different varieties, found that KFS in apples had the highest bark, compared to the total part of the fruit 83.2 GAE100g⁻¹ in the pulp and 500.2 GAE100g⁻¹ in the apple bark (Olfe et al., 2003).

The analysis of the total phenolic content (KFS) of the dried by-products showed that the highest KFS was in the flour of apple by-products.

The different chemical composition of the by-products, in particular the difference in phenolic compounds, indicates that there is a significant difference between KFS after drying and the total phenol content of the by-product and rye and oat flour. Data analysis showed that there is no significant difference between KFS content after drying ($p=0.88$) and there is no difference between KFS content in rye and oat flour, respectively KFS rye flour 71.38±2.34 GSE mg 100g⁻¹ and oat flour 68.22±2.16 mg 100g⁻¹ ($p=0.05$), while there is a significant difference between KFS in by-products and rye and oat flour ($p<0.05$).

The content and diversity of polyphenols also determine antiradical activity in products (Kruma et al., 2016).

The antiradical activity (DPPH method) in dried by-products and rye and oat flour is depicted in Figure 6.

In determining the antiradical activity of dried by-products (DPPH method), the highest ability to bind free radicals is dried apple flour and oat flour. When analyzing the data, there is a significant difference ($p<0.05$) between the antiradical activity in the by-products and the raw materials, which is also determined by the different phenol content of the product.

Determination of Total Dietary Fiber, TDF

Grains, fruits and vegetables are a source of fiber used as raw materials in the food industry to increase the nutritional value of the final product and to give functional properties to food (Li et al., 2014; Eskicioglu, Kamiloglu, & Nilufer, 2015).

The total amount of dietary fiber depicted in Figure 7 is determined for the by-products, oat and rye flour dried.

According to the results, the highest amount of TDF is 44.23% in ABM, while BBM - 26.88%, KBM - 30.23%, AM - 10.2%, RM - 12.2% of dry matter.

When analyzing data, there are significant differences between TDF content in by-products and rye and oat flour ($p=0.03$).

Colour and sensory evaluation

Drying results in a change in the colour of the drying product due to the drying effect as a result of drying, as well as the chemical reactions that occur under the influence of temperature MV radiation on sugar, protein, fat-containing products, and that some of the biologically active substances as pigments and carotenoids, which determine the colour of products, lose their activity (Roongruangsri & Bronlund, 2015; Dar et al., 2014). By drying products, peroxidase (PPO) activity decreases, resulting in a decrease in browning and increased color value (L*).

Apple's by-products contain the highest amounts of sugars, according to literature data, their carbohydrate content is about 80% soluble sugars: sucrose about 2%, glucose 2.4%, fructose 6.0%

(Gorsel et al., 1992) . This factor and enzymatic browning, which occurred before drying, could result in a darker color.

All dried by-products are in the range of positive a^* , or red, as well as positive b^* yellow color intensity range (Table 6).

According to the results, the intensity of red color of ABM is 13.61 ± 0.62 , BBM 48.36 ± 1.70 and KBM 20.53 ± 3.54 a^* and the yellow colour of ABM is 58.81 ± 0.96 , BBM 83.77 ± 0.44 , KBM - 70.67 ± 1.87 b^* spectrum units.

ABM is the darkest of all CIE color parameters compared to BBM and KBM, with significant color difference between samples ($p < 0.05$).

There is a weak negative correlation between the a^* , b^* and L^* values in the dried by-products when performing correlation analysis between the carotenoids present in the products.

The negative correlation coefficient (-0.16) indicates that the greater value of b^* , the less carotenoids in the sample;

The negative correlation ($r = -0.39$) factor characterizes the trend, the higher the a^* value, the less carotenoids in the sample.

Negative correlation ($r = -0.24$) characterizes the trend, the higher the L^* value (the sample is in the light intensity range), the less carotenoids are in the sample.

Dried by-products are measured by sensors, their quality number $KS > 2$, which describes them as "good quality".

The physical indicators of the by-products, chemical composition, microbiological safety and sensory properties allow them to be used in extrusion and to begin the development of Phase 2 formulations and experiments with extrusion parameters for the development of new products with biologically active nutrients.

Extrusion with single-screw extruder

In the second phase of the study, recipes were developed and product extrusion was performed with a single-screw extruder, based on the starch gelatination temperatures of the raw materials (rye and oats), where, according to the literature, rye is between 50°C - 60.3°C and the amount of water to be added, the content of which is up to 17% in the raw material mixture (Niu et al., 2017).

The second-stage recipes of the experiment are shown in Table 7 and extrusion parameters in Table 8.

The control sample is based on rye and oat flour, which is traditionally a product of cereals grown in climatic conditions in Latvia and a valuable source of biologically active substances - vitamins, phenols and antioxidants.

Sample extrusion was performed on experimental recipes adding 15-17% water. Temperatures at all extrusion stages were fixed, extrusion with single-screw extruder was carried out in 4 experiments, where the extruder individual zone temperatures were selected, as well as the screw speed between 600 and 800 min^{-1} , as determined by the equipment settings.

In Experiment 3, the matrix output temperature was raised to 120°C , resulting in an increase in screw rotation speed as the burning of fat in the raw materials began (oat flour up to $11\text{g } 100\text{g}^{-1}$) (J. Kaur et al., 2014).

3 trained LLU PTF assessors participated in the sensory evaluation of samples.

Evaluation was done to find out product quality and selection for further research.

Samples were evaluated by their appearance, colour, shape, taste, smell, hardness, crispness. The quality rating is shown in Figure 8, 9 and 10. Extruded samples are considered acceptable and usable for further research if their quality number $2 < KS$.

Assessing their quality criteria by formula (2), the results obtained show that there are significant differences in their KS value ($p = 0.005$).

There are no significant differences between the samples in the external appearance ($p = 0.09$) in the evaluation of each sensor parameter, the products show uneven dispersion of raw material particles, the burned product. There is a significant difference in the scent between the samples ($p = 0.04$), A10 and A15 assessed as slightly acidic with a bitter, unspoken smell, while B20 and K20 have an

unpleasant, burning, strongly bitter smell. There is no significant difference ($p=0.22$) between the products when evaluating the form, their rating is from 1.0 to 1.3, which rank them in quality - no bloating. The taste of the products is assessed from 1.0 (B20) to 2.7 (A15), between samples containing by-products and a significant difference in the taste characteristics of the control samples ($p=0.004$), which depends on the different by-products and their taste characteristics, determined by the chemical composition and content of biologically active substances. Samples with 15% of apples had significantly sweeter and more pleasant taste qualities. When evaluating the hardness of the products between the samples there is a significant difference ($p=0.02$), the samples A10, B10, K10 are rated with $2 < KS < 2.7$, while samples containing 15% and 20% by-products were evaluated in $KS < 1.3$ as very starchy, glassy, gloomy.

By evaluating the samples after extrusion with a single-thread extruder, the appearance and shape did not conform to the standards of the extruded samples, i.e. there was no bloating, so they were dense and the water in the raw materials was not evaporated. This was probably too low due to the temperature before the matrix in the area (98°C), so the water in the products could not turn into a steam form and no starch grain expansion occurred.

In Experiments 3 and 4, the matrix output temperature was raised to 124°C , resulting in an increase in the screw rotation speed as the fat burning in the raw materials was intensive (oat flour up to $11\text{g } 100\text{g}^{-1}$) (J. Kaur et al. 2014).

As the power of single screw extruder is too small to reduce the bulk density of the products, as well as bloating, which is one of the important quality indicators for the extruded products, it was decided to use the manufacturer's twin-screw extruder in the study and to continue the third stage of the research in collaboration with the manufacturer of breakfast cereals. SIA MILZU. The extrusion would use a twin-screw extruder SLG65-III (Datong Machinery, China), to which the extrusion part is divided into three sections to achieve uniform starch gelatinization. The maximum efficiency of extruder is 130 kg per hour.

Extrusion with twin screw extruder

Since the qualitative characteristics of the products could not be ensured in Stage 2, the 3rd extrusion with twin extruder at the MILZU plant was started, where the power and dimensions of the extruder determined the extrusion parameters already developed by the manufacturer.

The twin-screw extruder parameters (Table 9) ensure a smooth flow of raw materials as well as temperatures, thus starching the starch already in the pre-matrix, and when the products pass through the matrix, the starch grain is expanded and formed.

According to research conducted by researcher Moscicki (2011), the exact working conditions in extrusion cannot be unambiguously formulated because this process is very complex and the quality of the end product depends on many factors (Mościcki & van Zuilichem, 2011).

Extruded samples were selected for their sensory properties.

Samples after twin screw extrusion are shown in Figures 12, 13 and 14.

Samples were transferred for sensory evaluation using a 5-point linscale to measure colour (light/dark), volume, crispness, taste and aftertaste (Table 10).

When assessing the colour of samples, the darkest were samples with 20% of carrot by-products, as well as products with apple by-products. There is no significant difference in colour intensity between the samples containing the ABM, while the significant difference is between all samples containing by-products and a control sample of rye and oat flour (Table 10).

The lightest samples after the evaluation were extruded samples with 10% by-product additive, the darkest were samples with 20% addition of carrot by-products (B20 - 4.5), while there was a close correlation between the content of the by-product and the sample size when assessing volume. The more the byproduct was added, as the amount of extruded sample decreased.

The results of the data analysis show that adding apple by-products has a significant effect on the colour of the products, with significant differences between the products ($p < 0.05$). There is no significant difference in the amount of by-product of 10% and 15%, but there is a significant difference between the estimated samples ($p > 0.05$) when adding 20% ABF.

For extruded specimens, the indicator is significant because the product produces a look that matches, for example, products such as crispbread or bloated grains, breakfast cereals.

The largest volume, which can also be defined as the lower bulk density, is the control sample and the products with 10% by-product addition (A10, B10, K10), there are no significant differences in volume between these samples ($p > 0.05$), while for products for which the by-product was increased, there was a decrease in volume and also among the samples containing 15% by-products no significant differences. By adding 20% by-products, their volume was significantly different from the control sample and samples with 10 and 15% by-products. For samples, the amount of K20 is reduced and the rating is 1.9.

When evaluating the crispness of the displays, the most striking were samples A15 and A20, as well as B10 and B15, while B20 and K20 were the least crisp when performing data analysis ($p=0.05$), concluding that there was a significant difference between sample crunches.

The most important sensory indicator is the taste of the product, as the addition of by-products to traditional rye and oatmeal extruded products can alter the traditional taste of cereal flakes such as breadcrumbs.

The best taste qualities were attributed to A15, A20, B15 and K15, while products with 20% KBM and 20% BBM were considered very low in taste. Many scientific studies explain the dependence of sensory properties on the chemical composition of the product.

The highest taste and aftertaste (4.2) got an evaluation that was very much appreciated. Apple's aftertaste, the mild aroma, the slightly sweet taste ranked this sample the most.

There is no significant difference between the samples with the by-products, except for B20 and K20, the aftertaste of which is significantly different from the control sample and the products with lower by-product additives.

In the analysis of the dispersion to determine whether the by-product content influences such important indications as taste and aftertaste, it was concluded that the samples to which ABM was added - the byproduct has a significant effect on such indicators as taste and aftertaste.

When evaluating each product individually with different by-products, the obtained results prove that the added by-product has a significant impact ($p < 0.05$) on its sensory properties.

In order to find out the potential consumers' thoughts about this type of products, the samples were presented for evaluation at the International Exhibition "Riga Food 2017", where a survey was conducted on the degree of trust and the desire to buy such products in trade (Figure 15).

Of the 130 respondents, 78 replied that they would like to buy such products, 60% of respondents, and 19% did not know if they would buy such products and 20% would not buy such products.

New extruded products have a potential opportunity to be introduced by consumer survey.

New extruded products have a potential opportunity to be put into production by consumer surveys, as the largest share already expressed a clear belief, and the number of undecided people is 19%, which in the future could join the adherents of such products and healthy eating.

Determination of physico-chemical parameters for extruded products

Moisture

Moisture was determined for all samples prior to extrusion to calculate the amount of water to be added, which according to the literature would not be more than 17-20% (Navale et al., 2015).

The moisture content of all dried by-products and flour before extrusion ranged from 7.46 to 8.24%, which determined the amount of water to be added up to 10% so that the moisture content of the raw material mixture did not exceed 17% to 20%, as scientific advice suggests that the moisture content of the raw materials and the particle size distribution should be homogeneous. This will prevent the irregular work of the extruder (shooting or blocking) and ensure the desired extrudate quality (Levine & Miller, 2007).

The reduced moisture content of the raw materials affects the extrusion pressure, but has no significant effect on the operation of the extruder (i.e., increased viscosity of the material) (L. Moscicki, M. Mitrus & Rejak, 2011).

For all extruded samples, the moisture content after extrusion is from $3.96 \pm 0.01\%$ to $6.36 \pm 0.03\%$ hence the conversion of the water present in the products into vapor form has already taken place in the

post-matrix stage, and the expansion and humidity of the raw materials have also occurred in this vapor pressure (Table 11). This corresponds to the moisture content of the crispbread and extruded breakfast flakes.

The development of micro-organisms in the products is also influenced by the water still present in them, which is available for the biological chemical reaction, which is characterized as water activity. Water activity is low enough and the development of microorganisms is hindered.

In the control sample, the water activity before extrusion is 0.424 ± 0.01 and 0.389 ± 0.01 after extrusion (Table 10). While adding by-products to control samples, water activity tended to decline. By correlation analysis, we can see that the a_w , as well as the amount of by-product added, have a close correlation between the amount of by-product and a_w . Correlation coefficient $r=0.798$.

One of the most important forces that can bind water to cereal flour and by-product flour is capillary pressure. The higher the capillary radius (r) in cells (μ), the lower the pressure required to drain the water from the material.

One of the explanations for the decrease in water activity may be that, as a result of the heat treatment and pressure of the samples, partial cell wall decomposition occurred, resulting in increased capillary radius in the dog. Thanks to the capillary radius increase, lower pressure is needed to drain the existing water (Savlak et al., 2016).

Water Absorption Index (WAI)

Raw material WAI is an important indicator for determining how much water will be absorbed by raw materials, as well as how much water evaporation and loss of bulk density as a result of evaporation of boiling liquid will occur as a result of extrusion (Tako et al., 2014).

The sample water absorption index WAI is shown in Table 12.

For all samples, water absorption after extrusion decreased. Scientist Bettge (2006) points out that insoluble arabinoxylan found in grains, incl. also in rye and oat flour has a higher water binding and retention capacity (Bettge et al., 2006). In turn, scientists Raleng (2018), adding apple by-products, concluded that there was a strong negative correlation between the amount of apple by-products and the WAI extruded end product (Raleng et al., 2016).

Incorporation of by-product flour in cereal samples led to changes in water absorption properties. Water absorption gradually increased with the increase in the amount of vegetable by-product, possibly due to the dietary fiber content of these vegetables. Data analysis shows a significant difference ($p < 0.05$) between WAI samples that increased the by-product content.

Water absorption, compared to the control sample, increased by 56% by adding pumpkin by-products and by 55% by adding carrot by-products.

WAI samples extruded with a twin screw extruder as described by Geetha et al. (2012) ranged from 2.7 to 5.21 g g⁻¹ and was influenced by extrusion process conditions (temperature, screw speed and material rate) (Wójtowicz et al., 2015).

The WAI of many starch products increases with the temperature of the extruder before conditioning/ barrel. The maximum value is assumed to be around a temperature range of 180°C to 200°C. If these temperatures are exceeded, WAI decreases and causes an increase in water solubility (WSI) (Mościcki & van Zuilichem; 2011 Levine & Miller, 2007).

By analyzing single-factor dispersion, we can see that there is a moderate correlation between TDF and WAI ($r = 0.58$).

Bulk density of extruded products

Structure and functional properties of extruded products are one of the key factors for the consumer to accept them and the manufacturer to market them (Huang & Zhang, 2012).

The volume of the extruded products can be used as a measure of the porosity of the sample, a measure of the extent to which the product is expanded as a result of extrusion. The heat generated during the extrusion can increase the temperature of the water above the boiling point so that when the extrudate leaves the matrix, some of the moisture quickly converts to steam, resulting in an expanded structure with a large air pocket and low density. On the other hand, if there is not enough heat to create enough steam (either at low process temperature or high raw material humidity), less steam is released,

resulting in a high density product with collapsed cells that usually decompose after cooling so the product does not meet quality requirements (Włodarczyk-Stasiak et al., 2017).

By incorporating fiber into products, the nutrient profile (moisture and water activity) and physical properties (structure and texture) are basically changed (Brennan, Merts, Monroe, Woolnough, & Brennan, 2008). The bulk density of non-extruded products ranges from $45.62 \pm 1.22 \text{ g ml}^{-1}$ to the control sample and to $42.48 \pm 1.01 \text{ g g ml}^{-1}$ for the sample with 20% addition of the apple by-product (Table 13).

All products were subjected to a reduction in bulk density during the extrusion, indicating that there was an increase in starch grain and porosity, but for products containing by-products of 20%, the bulk density increased significantly ($p < 0.05$) and decreased in volume.

For samples containing 10% and 15% BBM, the bulk density compared to the control sample decreased (Table 13).

A similar result was observed for products with KBM added.

When analyzing the data, there are no significant differences ($0.05 < p = 0.08$) between the samples for which the by-products and the control sample were added.

The expansion and bulk density of extruded products depend on the chemical composition of the raw materials (Foschia et al., 2013). The mechanical properties of the raw materials contained in breadcrumbs and other extrudates depend on a number of factors, such as the type and amount of fiber added to the material, the amount of starch and the relationship between the amount of amylose and the resistant starch, and the type and amount of the feedstock also determine the volume of extrusion. (Turtoi & Popa, 2017). High moisture content, high dietary fiber content, especially insoluble fiber and relatively low starch content, result in lower extrudate expansion at the same time as density (D. Jain et al., 2013).

The properties of the samples used in the study are relatively low in starch content, as some of the grains are replaced by vegetable and fruit by-products that contain a low starch content and a low protein content (Colin-Henrion et al., 2009).

Scientist Huber (2001) proved that fiber and protein can be added up to 20% to achieve product volume and shape. A higher amount can be added if more soluble fiber and protein are used (G. Huber, 2001).

In determining the hardness (Table 13) of the extruded products, the hardness of all the products to which the by-products were added was reduced from $35.5 \pm 2.95 \text{ N}$ in the control sample to $33.5 \pm 2.78 \text{ N}$ in the A10 sample, 22.4 ± 4.28 in the A15 sample and $18.80 \pm 0.42 \text{ N}$ in the A20 sample (Table 12).

Samples containing BBM hardness B10 decreased to $16.28 \pm 2.80 \text{ N}$, while higher by-product increased hardness, resulting in a harder extruded product, i.e., $17.69 \pm 3.84 \text{ N}$ for B15 and $19.30 \pm 3.86 \text{ N}$ for B20 after 15% BBM addition.

Addition of KBM, compared with the control sample, resulted in a decrease in hardness, but a higher amount of by-product of 10 to 20% caused an increase in hardness. K10 hardness decreased to $16.7 \pm 1.20 \text{ N}$, K15, while K15 increased to 19.29 ± 0.22 and K20 reached $18.95 \pm 2.35 \text{ N}$.

Scientists Foschia (2013) proved that during extrusion the fibers give the products a softer structure (Foschia et al., 2013; Figuerola & Mar, 2005a), however, it does not depend solely on the amount of fiber and its solubility, but also on the other chemical components of the raw materials. proteins, sugars, fat (Konrade et al., 2017).

The high sugar content of ABM compared to BBM and KBM is also likely to result in this different tendency to hardness (Mashod & Chauhan, 1998). Although the scientist Tako (2014) concluded that the addition of other nutrients, such as sugar, is required at high concentrations to change starch curing conditions (Tako et al., 2014). The results showed that the sugars affected only retrogradation processes at high concentrations (starch-water-sugar ratio 1: 10: 5) (Tímea Gelencsér, 2014).

The increase in hardness of samples increased by KBM and BBM is probably due to the amount of KBM and BBM added and their water absorption. Similar results were reported by researchers Camire, Larrea, who studied the addition of different varieties of pumpkin (Camire, 2011; Ajila, Leelavathi, & Prasada Rao, 2008).

Analyzing data, water absorption capacity in raw materials and by-products has a significant impact on the quality of samples such as hardness ($P < 0.05$).

Colour

When introducing new food products into production and passing them on to consumers, one of the quality indicators is their colour (Delgado-Nieblas et al., 2015).

All extruded samples are in the light intensity zone (Table 14). Compared to a control sample with L^* value of 39.46 ± 2.64 , the L^* value for all experimental samples decreased from 26.84 ± 1.35 to the A10 sample and to 20.70 ± 2.392 – sample A20. There is a significant difference ($p < 0.05$) between the quantity of sample by-products and the intensity of the colour.

The effect of high temperature on the increase in L^* value may be due to the increase in air pockets/cells, whereas the decrease in L^* value may be due to the degradation and collapse of pigments in the raw materials due to high temperatures (Dar et al., 2014)).

The positive a^* value indicates that all samples are in the red spectrum area, a positive b^* value that the products are in the yellow spectrum area. Comparing the samples with the control sample, the a^* value tended to decrease, ie the amount of added byproduct reduced the intensity of the red color.

The ΔE value, which indicates the colour difference between the control sample and the sample by-products, significantly changed depending on the amount of by-products added.

Composition of nutrients and changes in extrusion process

Antioxidants in vegetables and fruits are vitamin C, E, phenol compounds, carotenoids whose biological activity is altered by exposure to various technological processes and environmental conditions (Pennington & Fisher, 2009).

Total carotenoids

Carotenoids play an important role in the colour of the product because they are naturally occurring pigments and play an important role in the nutritional value of the product (Lado et al., 2015).

For the determination of the amount of carotenoids in experimental samples before and after extrusion, shows that, with the exception of the addition of apple by-product samples, the total amount of carotenoids in the samples with the addition of carrot and pumpkin by-products increased. In the control sample, during extrusion, the total amount of carotenoids decreased from 1.11 ± 0.03 to $0.040.02$ mg $100g^{-1}$. With the addition of apple by-products, the total amount of carotenoids decreased. The total amount of carotenoids of A10 was 0.06 ± 0.01 mg $100g^{-1}$, A15 - 0.04 ± 0.01 mg $100g^{-1}$, whereas for the sample containing 20% apple by-product flour, the total amount of carotenoids decreased to 0.02 mg $100g^{-1}$ (Table 15).

The variation in carotenoid content in samples of apple by-products can be explained by the difference in the total carotenoid content of the raw materials. Total carotenoids were determined, but during the heat treatment, other carotenoids change their activity, such as lutein, zeaxanthin, α -carotene, 9-Cis- β -carotene and 13-Cis- β -carotene in the total carotenoid range. Lutein, for example, is more sensitive to high temperatures. The sensitivity of carotenoids largely depends on their source (Obradović et al., 2015). According to the literature, the highest losses of carotenoids occur at high temperatures when enzymatic and non-enzymatic oxidation is involved, when the heat-induced isomerization of trans-carotenoids in cis forms results in a change in the biological activity of carotenoids.

Similar results were obtained by studying the addition of apples to marmalade, when scientists Kampuse et al. (Berna et al., 2013).

Different varieties of pumpkins usually contain α -carotene and β -carotene, which are natural pigments (Seo et al., 2005). Their degradation by temperature was demonstrated in several studies (Waramboi, Gidley, & Sopade, 2013; Waramboi et al., 2013; Emin, Mayer-Miebach, & Schuchmann, 2012). Oxygen concentration has a greater impact on β -carotene stability than high temperature. When β -carotene is heated and exposed to air, polymerization is also added to its degradation (Qiu, Chen, & Li, 2009; Dutta et al., 2006).

For samples containing carrot and pumpkin by-products, the total amount of carotenoids increased depending on the amount of by-product added, although they were reduced by as much as 40 times, i.e. before extrusion, in samples B10 from 7.81 ± 0.87 to 0.17 ± 0.03 mg $100g^{-1}$, B15 from 11.16 ± 1.24 to 0.38 ± 0.02 mg $100g^{-1}$, B20 from 14.5 ± 1.88 to 0.54 ± 0.04 mg $100g^{-1}$.

For samples with KBM, the total amount of carotenoids at the time of extrusion changed in K10 from $10.13 \pm 1.97 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ to $3.71 \pm 0.49 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, K15 from 14.64 ± 2.23 to $4.86 \pm 0.66 \text{ mg } 100\text{g}$, and K20 from 19.14 ± 2.08 to $6.89 \pm 0.45 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$.

There are significant differences between the samples to which ABM and BBM or KBM were added. This could be explained by the different composition of carotenoids. α -carotene is a pigment that is usually contained in different types of pumpkins (Seo et al., 2005). Previous studies do not reveal the effect of extrusion on this pigment. 13-cis- β -carotene may show similar retention as α -carotene (Obradović et al., 2014). Extrudates obtained at various extrusion temperatures from 110 to 140°C showed that samples extruded at 120, 130 and 140°C resulted in greater degradation of functional components such as β -carotene (Wójtowicz et al., 2015; Dar et al., 2014).

Total Content of Phenols (TPC)

Phenolic compounds in food affect the properties of foods, such as taste, viscosity, and structural mechanical properties. Flavonoids increase nutritional value, provide antioxidant properties determined by the phenol structure (Olfe et al., 2003). The content of anthocyanin pigment plays a crucial role in the coloring of products with fruits and vegetables.

In food systems, phenolic compounds act as antioxidants, inhibiting the formation of lipid peroxidation and secondary oxidation products, helping to preserve taste, during color storage of the perfume (Yan & Kerr, 2013).

Fruit and vegetable processing affects the content of phenols (Oszmianski et al., 2011; Bourvellec et al., 2011). The content of polyphenols in apple juice changes during the crushing and pressing of apples, and is mainly due to the oxidation of the juice under the influence of the enzyme polyphenyloxidase, as well as the thermal effects of phenols (Boyer and Liu, 2004).

Changes in KFS content during extrusion in samples are shown in Figure 17.

For a control sample that did not include by-products, the total phenol content (TPC) after extrusion decreased. Decreasing the total phenol content may be due to the decomposition of phenol compounds due to the high extrusion temperature. The effects of various antioxidants were studied by scientists Kumar and Sharma and reported a significant reduction in total phenol content during barley flour extrusion (Kumar et al., 2013; Sharma et al., 2008).

In all samples with the addition of by-products, the total phenol content increased, however, there was no significant difference between the types of added by-product ($p > 0.05$). The addition of rye and oat flour by-products resulted in an increase in TPC by as much as 300%.

During the extrusion, TPC changed in all samples, however, for samples containing by-products, the decrease in TPC was not significant, for example, A10 and A15 did not differ significantly after the extrusion of TPC, while A20 showed a rapid increase in TPC content.

This is probably due to the chemical composition of apple by-products, which included both pomace, bark and seeds, which are known to be a highly concentrated source of biologically active substances. According to a study by scientists Xu and co-authors (2015), apple seeds had higher antioxidant activity than bark or pulp, antioxidant activity in seeds ranged from 57.59 to 397.70 mg TE 100 g^{-1} (Xu et al., 2015).

High temperatures and moisture content contribute to the phenol polymerization, which also changes the antioxidant activity.

Antiradical Activity (DPPH)

Phenol compounds have a very direct effect on antiradical activity, which depends on the degree of oxidation. Semi-polymerized phenols are stronger antioxidants, but after a certain degree of molecular complexity, their activity decreases (Priecina & Karklina, 2014; Nayak et al., 2011). Storage, thermal and technological processes as well as shredding of products affect antiradical activity as compounds are easily oxidized (Henr et al., 2010).

Antiradical activity in products before and after extrusion is depicted in the figure 18. In all samples, antiradical activity before extrusion increased depending on the amount of by-product added. The increase in antiradical activity is due to the high antioxidant capacity and the content of biologically

active substances in fruit and vegetable by-products, which, according to many scientists, differ according to the part of the plant, such as seeds or bark, as well as phenolic compounds and carotenoids.

The fastest antiradical activity increased in samples with ABM and BBM, which also coincides with data from literature that carrot bark, such as antiradical activity, is the highest (Arscott & Tanumihardjo, 2010).

For all extruded samples with addition of by-products, the correlation between the sample groups prior to extrusion and after extrusion was very strong ($0.91 < r < 0.99$ ($p < 0.05$)), with the carrot BBM correlation between TPC after extrusion and DPPH after extrusion was moderate ($r=0.77$).

Total dietary fiber

Rye and oat flour, especially whole grains, is a source of fiber used in the food industry to prepare products with high nutritional value. As we can see from the Phase 1 study, fruit and vegetable by-products are also a valuable source of soluble and insoluble fiber, containing as much as 200-300% more total dietary fiber than rye and oat flour.

Adding them to the control sample changed the fiber content.

The results show that in all samples with added by-products, the amount of TDF increased, compared to control sample having $11.80 \pm 1.14\%$ TDF, the amount of TDF in the sample A20 reached $29 \pm 2.33\%$, the amount of TDF in sample B20 reached $14.82 \pm 1.54\%$ and the amount of K20 TDF in the sample reached 15.49% DW. The total dietary fiber content of the extruded samples is shown in Fig. 19.

By comparing the results with the control sample, we can see that for products with added by-products the total dietary fiber content increased by 25% and more, thus following the European Regulation No. 1924/2006/ EC on nutrition and health claims made on foods may be grouped together with products with an increased fiber content, as it contains 25% more fiber than a similar product.

However, adding fiber to the product, especially by extrusion, can alter taste and change the colour, volume, structure, and other sensory characteristics (Kohajdová et al., 2011).

Analyzing the single-factor dispersion and correlation between the amount of dietary fiber in the raw materials and the WAI, we can see that there is a moderate correlation between TDF and WAI, $r=0.67$.

When analyzing data (Table 16), there is a close correlation between the amount of TDF in samples with ABM and hardness, and the amount of added byproduct reduces hardness, for samples containing BBM correlation strap TDF and hardness close to $r=0.42$ for samples with KBM correlation between TDF and hardness. moderately close $r=0.53$ (Arhipova, 2006). There is a close correlation between TDF and volume ($r=0.72$) when calculating the correlation coefficient.

CONCLUSIONS

1. After microwave-vacuum (MV) drying the apple, carrot and pumpkin by-product's physico-chemical, sensory and microbiological characteristics are suitable for extrusion.
 - Moisture of by-products 3.27-6.44%, water activity $a_w=0.35-0.51$, micro-organism development does not occur.
 - Water absorption of by-products is $5.6-7.8 \text{ g g}^{-1}$, which is higher than that of rye and oat flour.
 - The darkest colour intensity $L^* = 26.83 \pm 1.04$ is for dried apple byproducts promoted by the fermentative oxidation; the intensity of yellow and red color is more pronounced in the by-products of dried carrots and pumpkins, which correlate with the total carotenoid content.
 - The highest carotenoid content ($91.28 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) was determined in dried pumpkin by-products, while the highest total phenolics content ($191.90 \pm 12.45 \text{ mg GAE } 100 \text{ g}^{-1}$) and antiradical activity ($1.11 \pm 0.08 \text{ mg TE } 100 \text{ g}^{-1}$) (DPPH method) were in dried apple by-products.
2. Obtained samples by single-screw extruder with technological parameters $T=83 \pm 2^\circ\text{C}$ to $124 \pm 2^\circ\text{C}$, screw speed from 600 to 800 rpm min^{-1} were not acceptable in sensory evaluation.
3. By increasing the extrusion temperature ($T=120-160^\circ\text{C}$) and the screw speed ($1300-1500 \text{ rpm min}^{-1}$) in the twin screw extruder, it is possible to obtain extruded product with vegetable and fruit by-products.
4. There are significant differences in the evaluation of sensory properties for samples with different amounts of added by-products, the highest score is for samples with 15% apple, carrot or pumpkin by-products;
5. There are no significant differences in colour between samples containing carrot and pumpkin by-products, whereas the colour intensity of the sample with apple by-products is significantly different from that of the control sample.
6. In extruded products with added by-products, the moisture content is up to 4%, water activity to 0.31, increased volume (reduced volume to $8.13 \text{ g } 100 \text{ ml}^{-1}$) and higher water absorption (5.03 g g^{-1}) compared to control sample, as follows the parameters correspond to the optimal parameters of extruded products.
7. For a pumpkin by-product sample, the total carotenoid content increased significantly to $6.89 \pm 0.45 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ compared to the control sample. Total phenolics content, antiradical activity, and total dietary fiber content increased in all samples with vegetable and fruit by-products.
8. The results of the study confirm the hypothesis that vegetable and fruit by-products can be used in the production of extruded products with high biologically active substances.

Bibliogrāfija/ Bibliography

1. Aguedo, M., Kohnen, S., Rabetafika, N., Vanden Bossche, S., Sterckx, J., Blecker, C., ... Paquot, M. (2012). Composition of by-products from cooked fruit processing and potential use in food products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.04.005>
2. Ajila, C. M., Leelavathi, K., & Prasada Rao, U. J. S. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.001>
3. Altan, A., Mccarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley – tomato pomace blends by extrusion processing. 84, 231–242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.014>
4. Arscott, S. a., & Tanumihardjo, S. a. (2010). Carrots of Many Phytochemicals Acting as a Functional Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 223:239.
5. Bagherzadeh, M., Inamura, M., & Jeong, H. (2014). Food Waste Along the Food Chain. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, (71), 29. <https://doi.org/10.1787/18156797>
6. Berna, E., Kampuse, S., Straumīte, E., & Mūrniece, I. (2013). Evaluation of Rowanberry and Rowanberry-Pumpkin Sauces. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, 67(4–5), 422–428. <https://doi.org/10.2478/prolas-2013-0055>
7. Brennan, M. A., Merts, I., Monro, J., Woolnough, J., & Brennan, C. S. (2008). Impact of Guar and Wheat Bran on the Physical and Nutritional Quality of Extruded Breakfast Cereals. *Starch - Stärke*, 60(5), 248–256. <https://doi.org/10.1002/star.200700698>
8. Camire, M. (2011). Nutritional Changes during Extrusion Cooking. *Advances in Food Extrusion Technology*, 87–102. <https://doi.org/doi:10.1201/b11286-5>
9. Cf, M., Li, S., Ad, B., Ge, K., Ks, G., & Northwest, U. S. P. (2006). Arabinoxylan content of hard winter and spring wheats of the, 1–3.
10. Colin-Henrion, M., Mehinagic, E., Renard, C. M. G. C., Richomme, P., & Jourjon, F. (2009). From apple to applesauce: Processing effects on dietary fibres and cell wall polysaccharides. *Food Chemistry*, 117(2), 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.109>
11. Dar, A. H., Sharma, H. K., & Kumar, N. (2014). Effect of extrusion temperature on the microstructure, textural and functional attributes of carrot pomace-based extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 212–222. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00767.x>
12. Delgado-Nieblas, C. I., Zazueta-Morales, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Aguilar-Palazuelos, E., Camacho-Hernández, I. L., Ordorica-Falomir, C. A., ... Carrillo-López, A. (2015). Elaboration of functional snack foods using raw materials rich in carotenoids and dietary fiber: effects of extrusion processing. *CyTA - Journal of Food*, 13(1), 69–79. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.915892>
13. Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2006). Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 538–546. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.056>
14. Emin, M. A., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2012). Retention of ??-carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking. *LWT - Food Science and Technology*, 48(2), 302–307. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.004>
15. Eskicioglu, V., Kamiloglu, S., & Nilufer-erdil, D. (2015). Antioxidant Dietary Fibres : Potential Functional Food Ingredients from Plant Processing By-Products, 2015(6), 487–499. <https://doi.org/10.17221/42/2015-CJFS>
16. Figuerola, F., & Mar, A. (2005). Food Chemistry Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment, 91, 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.036>
17. Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., & Brennan, C. S. (2013). The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of Cereal Science*, 58(2), 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.05.010>
18. Group, F., Technical, N., & Campus, Z. (2011). LITERATURE DATA COMPILATION OF WAI AND WSI OF EXTRUDATE FOOD PRODUCTS N . A . Oikonomou and M . K . Krokida, (February 2009), 199–240. <https://doi.org/10.1080/10942910903160422>
19. Henr, C., Chiffelle, I., Valenzuela, T., Araya, M., Simpson, R., & Almonacid, S. (2010). Development of an Ingredient Containing Apple Peel , as a Source of Polyphenols and Dietary Fiber, 75(6). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01700.x>
20. Huang, L., & Zhang, M. (2012). Trends in Development of Dried Vegetable Products as Snacks. *Drying Technology*, 30(5), 448–461. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.644648>
21. Huber, G. (2001). Snack Foods from Cooking Extruders. *Snack Foods Processing*. <https://doi.org/doi:10.1201/9781420012545.ch12>
22. Inglett, G. E., Chen, D., Xu, J., & Lee, S. (2013). b -GLUCAN-ENRICHED HYDROCOLLOIDS FROM OAT BRAN CONCENTRATE *, 37, 792–798. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00690.x>
23. Jain, D., Devi, M., & Thakur, N. (2013). Study on the effect of machine operative parameters on physical characteristics of rice / maize based fruit / vegetable pulp fortified extrudates, 15(2), 231–243.

24. Kampuse, S., Ozola, L., Straumite, E., & Galoburda, R. (2015). Quality Parameters Of Wheat Bread Enriched With Pumpkin (*Cucurbita Moschata*) By-Products. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 19(2), 3–14.
25. Kaur, J., Kaur, A., & Ahluwalia, P. (2014). Effect of pre-dehulling treatments on chemical composition, functional and pasting properties of whole oat flour. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 6(2), 83–91.
26. Kohajdová, Z., Karovi, J., Jurasová, M., & Kukurová, K. (2011). Effect of the addition of commercial apple fibre powder on the baking and sensory properties of cookies, 4(2), 88–97.
27. Konrade, D., Klava, D., & Gramatina, I. (2017). CEREAL CRISPBREAD IMPROVEMENT WITH DIETARY FIBRE FROM APPLE BY-PRODUCTS, 1143–1148.
28. Konrade, D., Klava, D., Sabovics, M., Kince, T., & Kruma, Z. (2016). PLANT BY - PRODUCTS AS SOURCE OF NATURAL ANTIOXIDANTS FOR PRODUCTION OF CRISPBREADS, 6(3), 3001.
29. Kruma, Z., Tomsone, L., Galoburda, R., & Straumite, E. (2016). Total phenols and antioxidant capacity of hull-less barley and hull-less oats, 14, 1361–1371.
30. Kumar, K., Jindal, N., Sharma, S., & Nanda, V. (2013). Physico-chemical and antioxidant properties of extrudates developed from honey and barley. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(8), 1750–1761. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12147>
31. L. Moscicki, M. Mitrus, A. W., & Rejak, T. O. and A. (n.d.). Extrusion-Cooking of Starch. Retrieved from doi: 10.5772/52323
32. Lado, J., Cronje, P., Alquézar, B., Page, A., Manzi, M., Gómez-Cadenas, A., ... Rodrigo, M. J. (2015). Fruit shading enhances peel color, carotenes accumulation and chromoplast differentiation in red grapefruit. *Physiologia Plantarum*, 154(4), 469–484. <https://doi.org/10.1111/ppl.12332>
33. Leff, J. W., & Fierer, N. (2013). Bacterial Communities Associated with the Surfaces of Fresh Fruits and Vegetables, 8(3), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059310>
34. Levine, L., & Miller, R. C. (2007). 12 Extrusion Processes, 799–846.
35. Li, X., He, X., Lv, Y., & He, Q. (2014). Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace. *Journal of Food Process Engineering*, 37(3), 293–298. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12085>
36. MASOODI, F. A., & CHAUHAN, G. S. (1998). USE OF APPLE POMACE AS A SOURCE OF DIETARY FIBER IN WHEAT BREAD. *Journal of Food Processing and Preservation*, 22(4), 255–263. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1998.tb00349.x>
37. Mościcki, L., & van Zuilichem, D. J. (2011). Extrusion-Cooking and Related Technique. *Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability*, 1–24. <https://doi.org/10.1002/9783527634088.ch1>
38. Navale, S. A., Swami, S. B., & Thakor, N. J. (2015). Extrusion Cooking Technology for Foods : A Review. *Journal of Ready To Eat Food*, 2(3), 66–80.
39. Nayak, B., Berrios, J. D. J., Powers, J. R., & Tang, J. (2011). Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes, 76(6), 874–884. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02279.x>
40. Niu, Q., Pu, Y., Li, X., Ma, Z., & Hu, X. (2017). Solvent Retention Capacities of Oat Flour. <https://doi.org/10.3390/ijms18030590>
41. Obradović, V., Babić, J., Šubarić, D., Ačkar, Đ., & Jozinović, A. (2014). Improvement of nutritional and functional properties of extruded food products. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(3), 189–206.
42. Obradović, V., Babić, J., Šubarić, D., Jozinović, A., Ačkar, Đ., & Klarić, I. (2015). Influence of dried Hokkaido pumpkin and ascorbic acid addition on chemical properties and colour of corn extrudates. *Food Chemistry*, 183, 136–43. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.045>
43. Olfe, K. E. W., Ianzhong, X. W. U., & Iu, R. U. I. H. A. I. L. (2003). Antioxidant Activity of Apple Peels, 609–614.
44. Pennington, J. A. T., & Fisher, R. A. (2009). Classification of fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, S23–S31. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.11.012>
45. Pricina, L., & Karklina, D. (2014). Natural Antioxidant Changes in Fresh and Dried Spices and Vegetables, 3001(5), 492–496.
46. Qiu, D., Chen, Z. R., & Li, H. R. (2009). Effect of heating on solid ??-carotene. *Food Chemistry*, 112(2), 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.071>
47. Raleng, A., Singh, A., Singh, B., & Attkan, A. K. (2016). Response Surface Methodology for Development and Characterization of Extruded Snack Developed from Food-by-products, 7(6), 1321–1329. <https://doi.org/10.5958/0976-4038.2016.00216.5>
48. Roongruangsri, W., & Bronlund, J. E. (2015). A review of drying processes in the production of pumpkin powder. *International Journal of Food Engineering*, 11(6), 789–799. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2015-0168>
49. Savlak, N., T??rker, B., & Ye??ilkanat, N. (2016). Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. *Food Chemistry*, 213(October 2014), 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.064>
50. Seo, J. S., Burri, B. J., Quan, Z., & Neidlinger, T. R. (2005). Extraction and chromatography of carotenoids from pumpkin. *Journal of Chromatography A*, 1073(1–2), 371–375. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.10.044>
51. Sharma, A., Yadav, B. S., & Ritika. (2008). Resistant Starch: Physiological Roles and Food Applications. *Food*

- Reviews International*, 24(2), 193–234. <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>
52. Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T., & Takeda, Y. (2014). The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, 05(03), 280–291. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.53035>
 53. Turon, X., Venus, J., Arshadi, M., & Koutinas, M. (2018). Food Waste and Byproduct Valorization through Bio-processing : Opportunities and Challenges, 9(4), 5774–5777.
 54. Turtoi, M. O., & Popa, C. N. (2017). Physico-chemical, rheological and technological characterization of some mixtures of wheat, oat, barley and millet flours, 41, 102–114.
 55. Waramboi, J. G., Gidley, M. J., & Sopade, P. A. (2013). Carotenoid contents of extruded and non-extruded sweetpotato flours from Papua New Guinea and Australia. *Food Chemistry*, 141(3), 1740–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.070>
 56. Włodarczyk-Stasiak, M., Mazurek, A., & Jamroz, J. (2017). Effects of operative conditions on products obtained of starch-oil mixtures by single-screw extrusion. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 16(2), 191–198. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2017.0457>
 57. Wójtowicz, A., Mitrus, M., Oniszczyk, T., & Mo, L. (2015). Selected physical properties , texture and sensory characteristics of extruded breakfast cereals based on wholegrain wheat flour, 7, 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.051>
 58. Xu, Y., Fan, M., Ran, J., Zhang, T., Sun, H., Dong, M., ... Zheng, H. (2015). Variation in phenolic compounds and antioxidant activity in apple seeds of seven cultivars.
 59. Yan, H., & Kerr, W. L. (2013). Total phenolics content, anthocyanins, and dietary fiber content of apple pomace powders produced by vacuum-belt drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(6), 1499–504. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5925>