

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE

PĀRTIKAS TEHNOLOĢIJAS FAKULTĀTE
FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY

Tatjana Rakčejeva

**BIOLOĢISKI AKTIVĒTI GRAUDI
KVIEŠU MAIZES RAŽOŠANĀ**

**BIOLOGICALLY ACTIVATED GRAIN IN WHEAT
BREAD TECHNOLOGY**

Promocijas darba kopsavilkums
inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda iegūšanai
Pārtikas zinātnes nozarē, Pārtikas kvalitātes apakšnozarē

Resume of the Ph.D. thesis for acquiring
the Doctor's degree of Engineering Sciences in sector of Food Sciences,
in sub-sector of Food Quality

Jelgava
2006

Promocijas darba zinātniskā vadītāja:
Scientific advisor:

Līga Skudra
Prof., Dr. sc. ing.

Oficiālie recenzenti / Official reviewers:

- Prof., Dr. habil. sc. ing. **Gražina Juodeikiene** – Kauņas Tehnoloģijas Universitātē, Pārtikas Tehnoloģijas fakultātē, Ķīmijas katedras profesore, Kauņa, Lietuva. / Professor of Department of Food Technology, Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology, Kaunas Lithuania.
- Prof., Dr. habil. med. **Renāte Ligere** – Latvijas Universitātē, Medicīnas fakultātes profesore, Latvija. / Professor of Faculty of Medicine, University of Latvia, Latvia.
- Dr. biol. **Aleksejs Daņilēvičs** – Latvijas Universitātē, vadošais pētnieks, Latvija. / Leading researcher, University of Latvia, Latvia.

Darba izstrāde un noformēšana veikta ar ESF un LZP grantu atbalstu.



Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Pārtikas zinātnes promocijas padomes atklātajā sēdē 2006. gada 25. augustā, plkst. 12⁰⁰ Jelgavā, Lielajā ielā 2, Pārtikas tehnoloģijas fakultātē, 145. auditorijā.

The defence of the thesis in an open session of the Promotion Council of Food Science of Latvia University of Agriculture will be held on August 25, 2006, at 12 p.m. in Room 145, Latvia University of Agriculture, Lielā iela 2, Jelgava.

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

Atsauksmes sūtīt Promocijas padomes sekretārei LLU Pārtikas tehnoloģijas fakultātes docentei Dr. phys. **L. Markevičai** Lielā iela 2, Jelgava, LV 3001 vai part@llu.lv

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

References are welcome to be sent to **L. Markevica**, Dr. phys., the Secretary of the Promotion Council of Latvia University of Agriculture, Faculty of Food Technology, Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001, Latvia, part@llu.lv

SATURS

Pētījuma aktualitāte	4
Darba mērķis, uzdevumi, novitāte, zinātniskais un tautsaimnieciskais nozīmīgums	4
Zinātniskā darba aprobācija	5
Materiāli un metodes	7
Izejvielu, pusfabrikātu un gatavās produkcijas kvalitātes rādītāju noteikšanas metodes	8
Pētījumu rezultāti un diskusija	12
Graudu aktivēšana	12
Kviešu mīklas kvalitātes izvērtējums	17
Gatavā produkta kvalitātes izvērtējums	19
Maizes sensorais novērtējums	23
Kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā	24
Matemātiskā modeļa izveidošana	28
Secinājumi	31

CONTENT

Topicality of the research	32
The aim, objectives, novelties, and scientific significance of the research	32
Approbation of the research work	34
Materials and methods	34
Results and discussion	37
Grain activation	37
Evaluation of wheat dough quality	39
Evaluation of bread quality	41
Sensory evaluation of bread	43
Quality changes of wheat bread with activated wheat grain additive during the storage time	44
Development of the mathematical model	46
Conclusions	48

PĒTĪJUMA AKTUALITĀTE

Graudaugu produkti ir mūsu uztura pamats, jo ar ogļhidrātiem un olbaltumvielām, ko tie satur, uzņemam gandrīz divas trešdaļas dienā nepieciešamo kaloriju, bez tam tie ir svarīgs B grupas vitamīnu un šķiedrvielu avots. Diedzētas sēklas, graudi un graudu dīglīši uzturā izmantoti jau kopš seniem laikiem. 1782. gadā sojas pupu dīglīšos tika atklāts C vitamīns, un tos sāka lietot cingās ārstēšanā.

Literatūrā atrodami dati par diedzētu kviešu graudu pievienošanu maizes un konditorejas izstrādājumiem. Zinātnieku veiktie pētījumi liecina, ka diedzēti graudi ir veselīgs produkts un, lietojot tos ikdienas uzturā, tiek stimulēti vielmaiņas procesi, paaugstināta imunitāte, kompensēta vitamīnu un minerālvielu nepietiekamība, normalizēts skābju un sārmu līdzsvars, veicināta organisma attīrīšanās no nevēlamiem vielmaiņas metabolītiem.

Maizes ražošanā galvenā izejviela ir milti, kas iegūti no rudzu un kviešu graudiem. Jāievēro apstākļi, ka, graudus samaļot, to ārējo slāni noņem un kā blakusprodukts rodas klijas. Miltos nokļūst galvenokārt graudu centrālā daļa. Kaloriju daudzums rudzu un kviešu maizei ir gandrīz vienāds, bet rudzu maizei piemīt lielāka bioloģiskā vērtība – tā ir bagātāka ar vitamīniem, mikroelementiem un šķiedrvielām. Uzturā plaši lieto pilngraudu maizes izstrādājumus. Tie ir veselīgi, jo no graudiem nav atdalīts apvalks un dīgsts, kas satur gan taukos šķīstošo E vitamīnu, gan ūdenī šķīstošos B grupas vitamīnus, minerālvielas, mikroelementus. Šiem produktiem piemīt lielāka bioloģiskā vērtība, salīdzinot ar maizes izstrādājumiem bez graudu piedevas.

Mūsdienās patērētāji pārtikas produktiem izvirza ļoti augstas prasības – tiem jābūt izskatīgiem, ar augstu uzturvērtību, teicamām sensorām īpašībām, kā arī viegli atpazīstamiem tirgū.

Literatūrā tikpat kā nav sastopami dati par maizes uzturvērtības paaugstināšanu, mīklai pievienojot bioloģiski aktīvus rudzu un kailgraudu miežu graudus, kā arī par graudu fizikāli ķīmiskajām izmaiņām aktivēšanas laikā. Tāpēc radās ideja kviešu mīklai pievienot bioloģiski aktīvus – dīgšanas procesa sākuma stadijā esošus – rudzu, kailgraudu miežu un kviešu graudus un izvērtēt jauno maizes izstrādājumu kvalitāti un bioloģisko vērtību, kā arī pārbaudīt to kvalitāti iepakojumā uzglabāšanas laikā. Veiktie pētījumi pārtikas ķēdē izejviela – pārtikas ražošana – uzglabāšana – patērētājs dod iespēju paredzēt, ka bioloģiski aktīvu graudu piedeva kviešu mīklai paaugstinās tās kvalitāti un ļaus iegūt bioloģiski augstvērtīgu tirgū konkurētspējīgu produktu ar teicamām sensorām īpašībām.

Apkopojot literatūrā atrastos datus, tika izvirzīts **promocijas darba mērķis**: izpētīt rudzu, kviešu un kailgraudu miežu graudu fizikāli ķīmisko un bioloģisko īpašību izmaiņas aktivēšanas laikā un iespējas tos izmantot kviešu maizes ražošanas tehnoloģijā.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **uzdevumi**:

- noteikt graudu aktivēšanas optimālos apstākļus – temperatūru, ilgumu un gaisa relatīvo mitrumu;
- izpētīt graudu kvalitatīvās izmaiņas bioloģiskās aktivēšanas laikā;
- noteikt aktivēto graudu optimālās devas un izvērtēt kviešu mīklas kvalitātes izmaiņas pēc aktivētu graudu pievienošanas;
- izstrādāt kviešu maizes ar aktivētu kviešu, rudzu un kailgraudu miežu graudu piedevu ražošanas tehnoloģisko paņēmieni;
- analizēt maizes ar aktivētu graudu piedevu fizikāli ķīmisko, sensoro īpašību un struktūras izmaiņas;
- pārbaudīt jauno produktu kvalitāti iepakojumā uzglabāšanas laikā:
 - izpētīt maizes kvalitāti uzglabāšanas laikā dažādos iepakojumos;
 - izpētīt maizes struktūrmehāniskās īpašības uzglabāšanas laikā dažādos iepakojumos.

Pētījuma **novitāte** – ir izstrādāta jauna ražošanas tehnoloģija kviešu maizei ar bioloģiski aktivētu kviešu, rudzu un kailgraudu miežu graudu piedevu un izvērtēta iegūtā produkta kvalitāte. Pirmoreiz veikti pētījumi par republikā selekcionēto kailgraudu miežu izmantošanu kviešu maizes ražošanā. Izstrādāts un Latvijas Republikas Patentu valdē iesniegts izgudrojuma pieteikums, kas akceptēts patenta izsniegšanai (patenta numurs SPK⁷ : A23D13 / 02, Maize ar bioloģiski bagātinātu graudu piedevu).

Darba **zinātniskais nozīmīgums** – izpētītas kviešu, rudzu un kailgraudu miežu graudu fizikāli ķīmiskās izmaiņas bioloģiskās aktivēšanas laikā; noteikta optimālā graudu piedeva kviešu mīklai; analizētas reoloģiskās īpašības un kvalitātes izmaiņas kviešu mīklai ar bioloģiski aktivētu kviešu, rudzu un kailgraudu miežu graudu piedevu. Novērtēti iegūto jauno maizes šķirņu fizikāli ķīmiskie un sensorie rādītāji. Izpētītas maizes struktūrmehānisko īpašību izmaiņas, kā arī citi kvalitātes rādītāji uzglabāšanas laikā dažādos iepakojumos. Izstrādātais matemātiskais modelis raksturo krišanas skaitļa vērtības izmaiņas graudu bioloģiskās aktivēšanas laikā atkarībā no aktivēšanas ilguma.

Darba **tautsaimnieciskā nozīme** – izstrādāta jauno maizes šķirņu pagatavošanas tehnoloģija. Kviešu maizei ar bioloģiski aktivētu kviešu un kailgraudu miežu graudu piedevu piemīt ne tikai augstāka uzturvērtība, bet arī labākas sensorās īpašības, salīdzinot ar parasto kviešu maizi.

ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Par rezultātiem ziņots deviņās starptautiskās zinātniskās un zinātniski – praktiskās konferencēs, semināros un simpozijos Latvijā (LLU), Beļģijā, Krievijā, Spānijā, ASV, Anglijā, Polijā un Lietuvā.

1. Rakcejeva, T., Skudra, L. (2006) Evaluation of wheat bread with biologically activated rye, wheat and hull-less barley grain additive, 1st Baltic Conference

- on Food Science and Technology FOODBALT – 2006, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, 25 – 26 of April (*referāts / oral presentation*).
2. Rakcejeva, T., Skudra, L., Strautniece, E., Legzdina, L. (2005) Sensory evaluation of wheat bread with germinated grain additive, 6th Pangborn Sensory Science Symposium, Harrogate International Centre, Yorkshire, UK, 7–11 of August (*stenda referāts / poster presentation*).
 3. Rakcejeva, T., Skudra, L., Dukalska, L. (2005) Optimal shelf life prediction of bread with germinated grains, Culinary Arts and Sciences Global and National Perspectives, Warsaw, Poland, from 26 of June to 1 of July, (*referāts / oral presentation*).
 4. Rakcejeva, T., Skudra, L. (2005) Investigation on the quality of dough with germinated grain additive, 11th International Scientific Conference Research for Rural Development 2005, LLU, Jelgava, Latvia, 18–21 of May, (*referāts / oral presentation*).
 5. Rakcejeva, T., Skudra, L., Legzdina, L. (2005) Evaluation of chemical composition and technological properties of germinated cereal grains, 3rd International conference Standing on the Shoulders of Grains – What We Have Learned and Where We are Going, Manhattan, Kansas, USA, 22–26 of May, (*stenda referāts / poster presentation*).
 6. Rakcejeva, T., Skudra, L., Dukalska, L. (2004) Germinated grains in wheat bread technology, 3rd International Symposium Ensuring the Safety, Quality and Traceability of Foods, Barcelona, Spain, (*stenda referāts / poster presentation*).
 7. Rakcejeva, T., Skudra, L. (2004) Vitamin content dynamics in grain germination process, International Seminar on Food Safety and the Consumer, Brussels, Belgium, (*stenda referāts / poster presentation*).
 8. Ракчеева, Т., Скудра, Л. (2004) Изменение аминокислотного состава озимой ржи в процессе проращивания, Международная конференция молодых учёных Биология – наука XXI века, Пущино, Россия, (*постэр / poster presentation*).
 9. Rakčejeva, T., Skudra, L. (2004) Diedzēti graudi kviešu maizes uzturvērtības paaugstināšanai, International Scientific Practical Conference Innovation Development Trends of Food Products, LLU, Jelgava, Latvia, (*referāts / oral presentation*).

Pētījumu rezultāti apkopoti un publicēti piecos vispārārtītos recenzējamos zinātniskos izdevumos latviešu, angļu un krievu valodā, no tiem divos LZP atzītos izdevumos.

1. Rakcejeva, T., Skudra, L., Strautniece, E., Legzdina, L. (2005) Sensory evaluation of wheat bread with biologically activated grain, Food Chemistry and Technology, Kaunas, Lithuania, pp. 48–53.
2. Rakcejeva, T., Skudra, L., Legzdina, L. (2005) Investigation of the quality of dough with germinated grain additive, International Scientific Conference

Proceedings Research for rural development, LLU, Jelgava, Latvia, pp. 182–186.

3. Rakcejeva, T., Skudra, L., Dukalska, L. (2005) Optimum shelf life prediction of bread with germinated grains, 5th International Scientific Conference Proceedings Culinary Arts and Sciences Global and National Perspectives 005, Warsaw, Poland, pp. 351–359.
4. Rakcejeva, T., Skudra, L. (2004) Vitamin content dynamics in grain germination process, International Scientific Conference Proceedings Research for rural development, LLU, Jelgava, Latvia, pp. 158–160.
5. Ракчеева, Т., Скудра, Л. (2004) Применение пророщенного зерна в производстве пшеничного хлеба с целью повышения пищевой ценности, International Scientific Practical Conference Innovation Development Trends of Food Products, Reports, LLU, Jelgava, Latvia, pp. 54–58.

Sadarbībā ar SIA „JLM grupa” Jelgavas ražotni izstrādāts, iesniegts un apstiprināts **izgudrojuma pieteikums**.

Stabulnieks, V., Rakčejeva, T., Skudra, L., Kārkliņa, D. (2005) Maize ar bioloģiski bagātinātu graudu piedevu, iesniegums par patenta izdošanu Latvijas Republikas Patentu valdei, patenta numurs SPK⁷:A23D13/02.

Piedalīšanās izstādēs:

1. Rakčejeva, T., Skudra, L., Dukaļska, L. (2006) Kviešu maizes ar diedzēto kviešu graudu piedevu uzglabāšanas laika pagarināšanas iespējas, Izstāde „Reģionālā attīstība Latvijā 2006”, 20.–22. aprīlis, Rīga, Latvija, (*stenda referāts / poster presentation*).
2. Rakčejeva, T., Skudra, L., Dukaļska, L. (2005) Kviešu maizes ar diedzēto kviešu graudu piedevu uzglabāšanas laika pagarināšanas iespējas, International Exhibition „Riga Food 2005”, 7–10 of September, Riga, Latvia, (*stenda referāts / poster presentation*).
3. Rakcejeva, T., Skudra, L. (2003) International Exhibition „Riga Food 2003”, 10–13 of September, Riga, Latvia (*maizes paraugi ar aktivētu kviešu graudu piedevu / bread samples with activated wheat grain additive*).

MATERIĀLI UN METODES

Pētījumu norises vietas

Pētījumu norises vietas: Latvija (laikā no 2003. līdz 2005. gadam).

- Latvijas Lauksaimniecības universitāte
 - Agronomisko analīžu zinātniski pētnieciskā laboratorija (tauku, kopcukuru, kopproteīna, šķiedrvielu daudzuma noteikšana).
 - Sēklzinību analīžu laboratorija (līpekļa, krišanas skaitļa, cietes, mitruma, Zeleni skaitļa noteikšana graudu aktivēšanas laikā).
 - Pārtikas tehnoloģijas katedras laboratorijas: Sensoro analīžu laboratorija (maizes sensorā analīze); par ERAF līdzekļiem ierīkotā Iepakojuma

materiālu īpašību izpētes laboratorija (maizes ar aktivētu kviešu graudu iepakošana, maizes mīkstuma krāsas izmaiņas, mīkstuma un garozas cietības izmaiņas uzglabāšanas laikā); Pārtikas Tehnoloģijas fakultātes Pārtikas produktu analīžu laboratorija (mitruma, skābuma, porainības izmaiņu noteikšana maizes paraugos uzglabāšanas laikā).

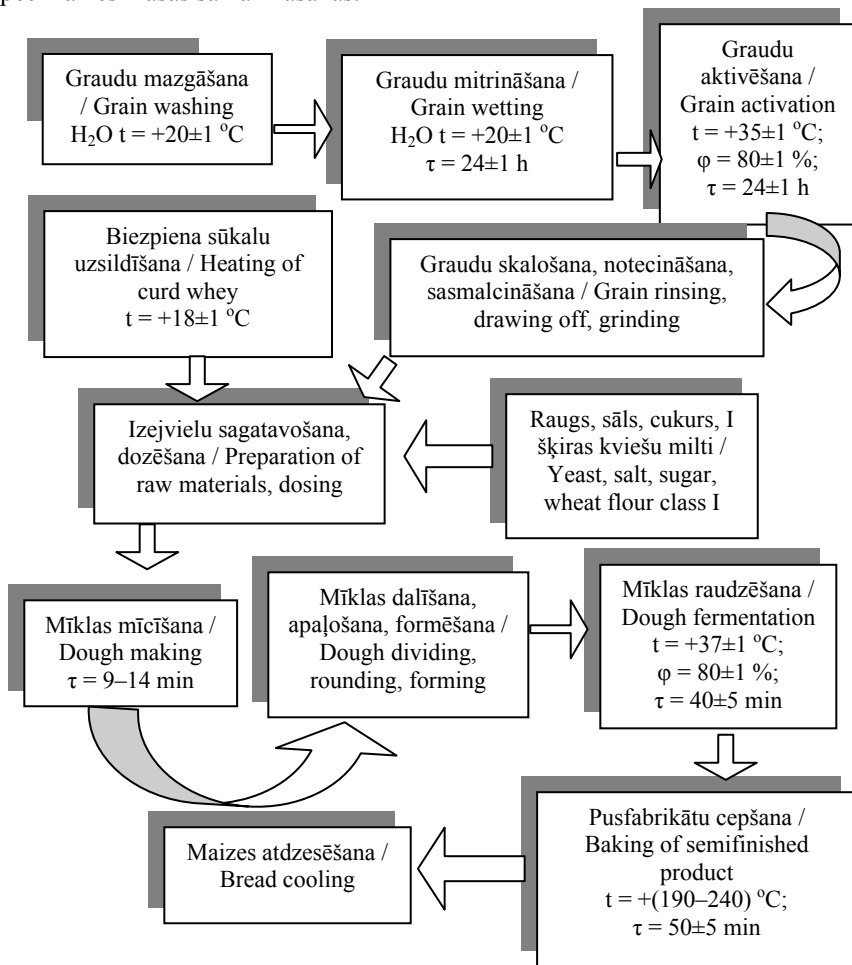
- SIA „JLM grupa” Jelgavas ražotnes eksperimentālā ceptuve (graudu aktivēšana klimatiskajā kamerā, maizes paraugu cepšana).
- SIA „Zelta vārpa 5” (maizes porainības noteikšana; eksperimentālo maizes paraugu cepšana).
- A/s „Rīgas Dzirnavnies” (mīklas ar aktivēto graudu piedevu farinogrāfiskā analīze).
- Latvijas Universitātes Bioloģijas institūts (B₁, B₂, niacīna, C, E vitamīnu un aminoskābju analīzes).
- Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un Virusoloģijas institūts (glikozamīna noteikšana).
- **Pētījumos izmantoti:** a/s „Dobeles Dzirnavnies” I šķiras kviešu milti (lipekļis 28%, mitrums 13,8%, pelnvielu daudzums 0,88%); SIA „Zelta vārpa 5” 2003. gada ražas kviešu šķirnes ‘Kontrast’ graudi un 2003. gada ražas rudzu šķirnes ‘Voshod’ graudi; Priekuļu izmēģinājumu stacijā selekcionētie 2004. gada ražas kailgraudu miežu graudi; dzeramais ūdens graudu skalošanai un mitrināšanai (atbilstoši LR Ministru kabineta 2003. gada noteikumiem Nr. 235 „Dzeramā ūdens obligātās nekaitīguma prasības”); maizei ar aktivētu graudu piedevu pievienotās izejvielas: presētais maizes raugs (UTN 40003040518-101-2002); cukurs (atbilstoši LR „Likumam par cukuru”); sāls (LV US 01310005); biezpiena sūkalas no a/s „Zemgales piens”.

Izejvielu, pusfabrikātu un gatavās produkcijas kvalitātes rādītāju noteikšanas metodes

- **Graudu mitrums** noteikts pēc standarta metodes *LVS 272*.
- **Piemaisījumu daudzums** – pēc standarta metodes *LVS 271*.
- **Lipekļa saturs** – pēc Pertena standarta metodes *LVS 275* ar „Glutomatic” iekārtu.
- **Krišanas skaitlis** graudos – pēc Hagberga–Pertena standarta metodes *LVS 274*.
- **Tauku daudzums** – pēc standarta metodes *ISO 6492*, izmantojot iekārtu „Büchi Extraction System B-811”.
- **Šķiedrvielu saturs** – pēc standarta metodes *ISO 5498* ar iekārtu „Fibertec system 1010 Heat Extractor”.
- **Kopproteīna saturs** – pēc standarta *AACC 46-20* Kjeldala metodes.

- **Graudu dīgtspara un dīgtspējas noteikšana.** Dīgtspars un dīgtspēja raksturo graudu dzīvības norises. Dīgtspars ir trīs diennaktīs izdīgušo graudu skaits (%). Dīgtspēja ir piecās diennaktīs izdīgušo graudu skaits (%). Dīgšana norisinās +(16–17) °C temperatūrā. Pēc trim dienām saskaita izdīgušos graudus un nosaka dīgtsparu, bet pēc piecām dienām – dīgtspēju.
- **Kopcukuru daudzums** noteikts pēc Bertrana metodes, kuras pamatā ir cukuru aldehīdu un ketonu grupas oksidēšana, vārot šķīdumu Felinga reaģenta klātbūtnē (bāzisks vara oksīda šķīdums).
- **1000 graudu masa.** Graudu absolūtā masa ir 1000 graudu masa gramos, pārrēķināta uz sausni.
- **Graudu stiklainība** raksturo graudu endospermas konsistenci. Endospermu vērtē griezumā ar diafanoskopu.
- **Aminoskābju saturs** noteikts pēc hromatogrāfiskās metodes ar aminoskābju analizatoru „Mikrotechna AAA 831”.
- **C vitamīna daudzums** – pēc Tilmansa metodes, kuras pamatā ir L-askorbīnskābes ekstrahēšana no attiecīgi sagatavota pētāmā materiāla ar skābeņskābes šķīdumu un 2,6-dihlorfenolindofenolu pārvēršana par dehidroaskorbīnskābi.
- **Niacīna saturs** – pēc Stepanovas metodes ar fotoelektrokolorimetru.
- **B₁ vitamīna daudzums** – ar fluorimetru „Specol 11” pēc Jansena metodes Jeļesejevas modifikācijā.
- **B₂ vitamīna saturs** – ar fluorimetru „Specol 11” pēc Povolockas, Zajcevas un Skorobogatovas metodes.
- **E vitamīna noteikšana** balstīta uz tokoferola spēju oksidēties. E vitamīnu oksidē ar FeCl₃, bet dzelzi – ar α , α^1 – dipiridilu.
- **Glikozamīna daudzums** – ar aminoskābju analizatoru „Mikrotechna AAA 831”. Izstrādāta jauna noteikšanas metode: sausam graudu izvilkumam pievienots N-acetilglikozamīns 1 : 1, starp aminoskābēm tirozīnu un histidīnu parādās maksimums, kas ļauj apgalvot, ka tas arī ir meklējamais glikozamīns.
- **Graudu bioloģiskā aktivēšana** veikta klimatiskajā kamerā +25, +30, +35 °C temperatūrā, uzturot konstantu gaisa relatīvo mitrumu 80%.
- **Mīklas un maizes masa** noteikta, sverot paraugus uz elektroniskajiem svariem „ACCULAB V – 1200”.
- **Mīklas reoloģisko īpašību izpēte** veikta ar farinogrāfu „Brabender” pēc standartmetodes *ICC – 115/1*.
- **pH izmaiņas** konstatētas pēc standarta metodes *AACC 02 – 52*.
- **Mitruma saturs** maizes paraugos – pēc standarta metodes *LVS 6496*.
- **Krāsas izmaiņas** maizes izstrādājumiem – CIE L*a*b* krāsu sistēmā ar iekārtu „ColorTec-PCM”.
- **Maizes porainība** – ar Žuravļova iekārtu.

- **Maizes nocepumu** – lielākos tehnoloģiskos zudumus maizes cepšanas procesā – aprēķina pēc maizes masas samazināšanās atdzesēšanas laikā.
- **Maizes nožuvums** ir maizes masas zudums uzglabāšanas laikā, to aprēķina pēc maizes masas samazināšanās.



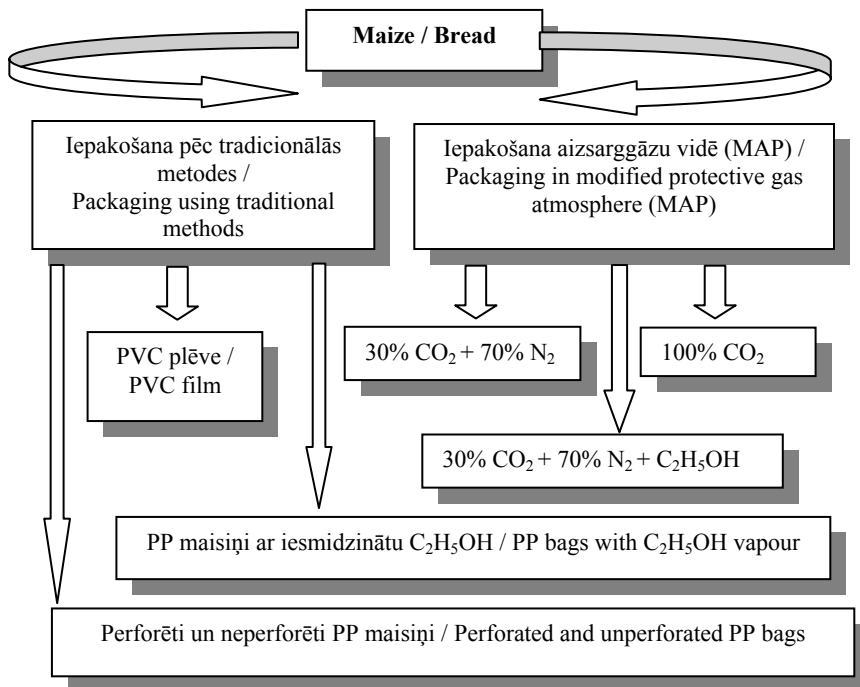
1. att. Kviešu maizes ar bioloģiski aktivētu graudu piedevu gatavošanas tehnoloģija
Fig. 1. Technology for preparation of wheat bread with biologically activated grain additive

- **Sensorās īpašības.** Maizes mīkstuma krāsas, porainības, konsistences, garšas + smaržas īpašības noteiktas ar standartmetodi *ISO 4121:1987*; maizes patikšanas pakāpe – izmantojot standartmetodi *ISO 4121:1987*.

- Maizes garozas un mīkstumā **ciētības** izmaiņas uzglabāšanas laikā noteiktas ar spēka – deformācijas testu, kas veikts ar iekārtu „UTM” (Ultra Test Mecmesin – BFG 1000 N).

Maizes paraugu ražošanas tehnoloģiskā shēma apkopota 1. attēlā.

Kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu iepakojšanas un uzglabāšanas veidi parādīti 2. attēlā.



2. att. Kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu iepakojšanas un uzglabāšanas shēma

Fig. 2. Packaging and storage scheme of wheat bread with biologically activated grain additive

Rezultātu matemātiskā apstrāde

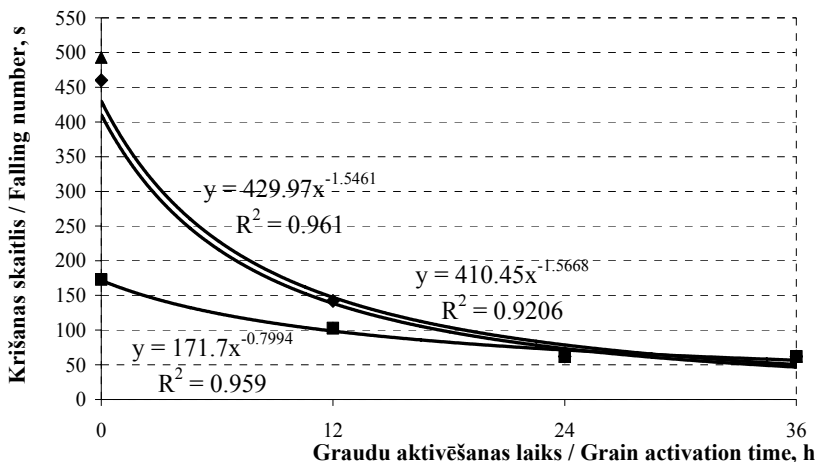
Iegūtajiem rezultātiem aprēķināti vidējie aritmētiskie lielumi, standartnovirzes aprēķinātas ar programmas Microsoft Excel paketi. Sensorā vērtējuma rezultāti analizēti ar statistiskajām metodēm: divfaktoru dispersijas analīzi un Tjūkija testu. Uz eksperimentālo datu bāzes izstrādāts matemātiskais modelis. Aprēķina piemērs dots kviešu graudu paraugam, pētot krišanas skaitļa izmaiņas. Modelis izveidots, izmantojot programmu „SOLVER” un t – testu. Analizējot kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu garozas ciētības

izmaiņas dažādos iepakojuma materiālos, iepakojšanas vidēs un uzglabāšanas laikos, veikta dispersijas analīze, homogenitātes un Šefi (Sheffe) tests.

PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Graudu aktivēšana

- **Graudu aktivēšana** veikta klimatiskajā kamerā temperatūras intervālā no +25 līdz +35 °C un gaisa relatīvajā mitrumā 80%. Aktivēšanas laiks līdz 36 h.
- **Krišanas skaitļa vērtība** kailgraudu miežiem pirms eksperimentu sākuma ir 493 s, kviešiem – 460 s, rudziem – 173 s. Pēc graudu aktivēšanas krišanas skaitļa vērtība samazinās, un pēc 36 stundām visu veidu graudiem tā ir 62 s (3. att.). Tas saistīts ar bioķīmisko procesu norisi graudos aktivēšanas laikā, aktivizējas fermenti, α -amilāzes un β -amilāzes un notiek cietes šķelšana, jo ciete ir nozīmīgs enerģijas avots graudu dzīvības procesu norisei.



◆ kvieši / wheat ■ rudzi / rye ▲ mieži / barley

3. att. Krišanas skaitļa dinamika rudzu, miežu un kviešu graudiem bioloģiskās aktivēšanas laikā

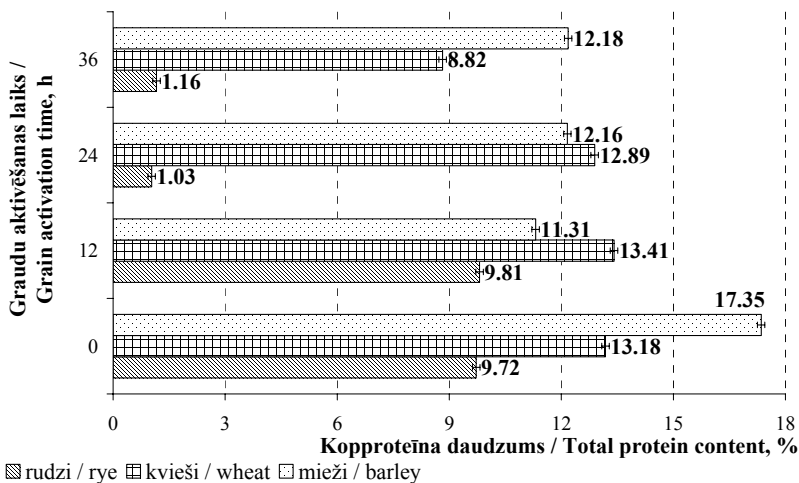
Fig. 3. Dynamics of rye, wheat and hull-less barley grain falling number in activation time

- **Lipekļa kvalitatīvās un kvantitatīvās izmaiņas.** Rudziem un kailgraudu miežiem lipekli iegūt neizdevās. Aktivējot kviešu graudus laika periodā līdz 24 h, mitrā lipekļa daudzums samazinās no 25,40 līdz 3,80%, lipekļa indekss – no 96,14 līdz 38,00%, novērojama arī lipekļa hidratācijas spējas samazināšanās no 213,58 līdz 171,43%. Turpinot graudu aktivēšanu līdz 36 h, kviešiem lipekļa kvalitāte kļūst neapmierinoša. Tas izskaidrojams galvenokārt ar disimilācijas

procesu norisi, kuras gaitā samazinās olbaltumvielu saturs. Literatūrā pastāv uzskati, ka diedzēšanas laikā samazinās arī disulfidsaišu un sulfhidrīlgrupu attiecību daudzums rudzu graudos un pastiprinās fermenta papaīna darbība miežos.

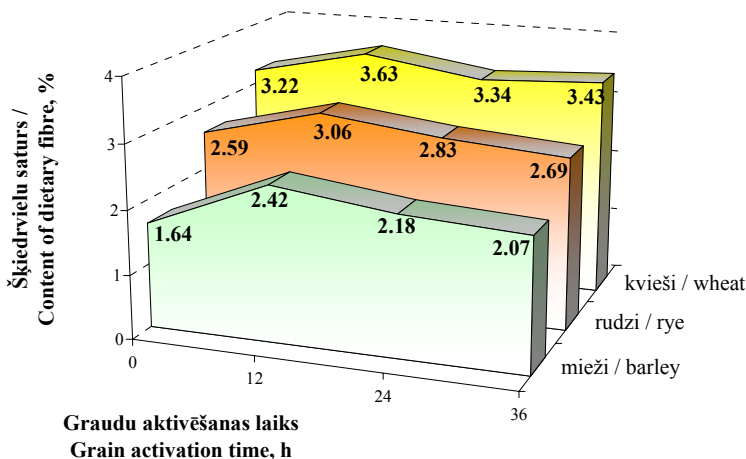
- **Tauku satura izmaiņas graudos aktivēšanas laikā.** Graudus aktivējot līdz 24 h, paaugstinās fermentu triacilglicerollipāzes un lipoksigenāzes aktivitāte, salīdzinot ar kontroles paraugiem, būtiskas tauku daudzuma izmaiņas nav novērotas.

- **Kopproteīna daudzuma izmaiņas.** Bioloģiskās aktivēšanas laikā graudos pazeminās kopproteīna saturs, jo proteolītisko fermentu iedarbībā notiek olbaltumvielu šķelšanās. Aktivēšanas laikā līdz 24 h kopproteīna daudzums visvairāk samazinās rudzos – no 9,72 līdz 1,03%, kviešos – no 13,18 līdz 12,89%, kailgraudu miežos – no 17,35 līdz 12,16% (4. att.).



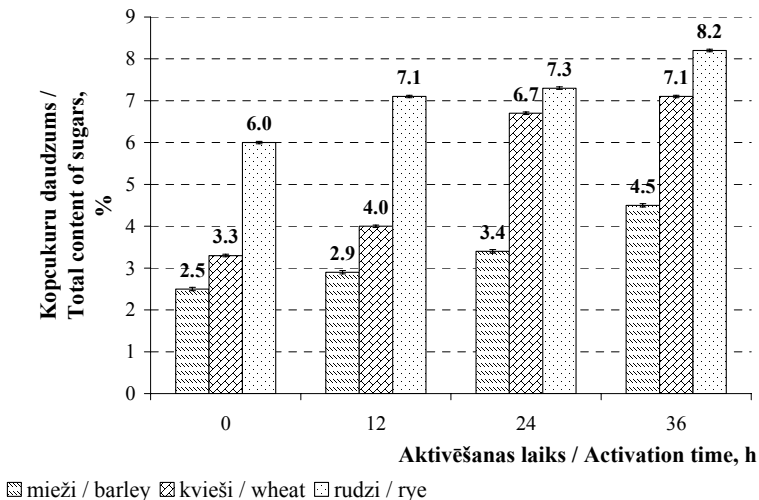
4. att. Kopproteīna daudzuma samazinājums graudos
 Fig. 4. Decrease of total protein content in grains

- **Šķiedrvielu apjoma izmaiņas graudos aktivēšanas laikā.** Šķiedrvielu daudzums graudos, salīdzinot ar kontroles paraugiem, aktivēšanas laikā līdz 24 h palielinās: rudzu graudos – no 2,59 līdz 2,83%, kailgraudu miežos – no 1,64 līdz 2,18% un kviešos – no 3,22 līdz 3,34% (5. att.). Tas izskaidrojams ar amilolītisko fermentu darbību, kas šķeļ celulozi un hemicelulozi.



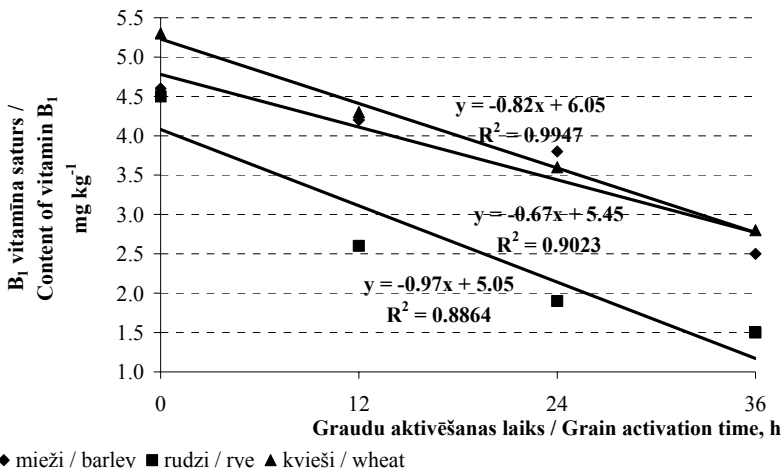
5. att. Šķiedrvielu satura dinamika graudos
Fig. 5. Dynamics of dietary fibre content in grains

• **Kop cukuru satura izmaiņas.** Visaugstākais kopcukuru daudzums ir neaktivētos rudzu graudos (6,03%), tas ir 2,4 reizes vairāk nekā kailgraudu miežos un 1,8 reizes vairāk nekā kviešos. Graudus aktivējot līdz 24 h, kopcukuru saturs kailgraudu miežos pieaug 1,3, rudzos – 1,2, kviešos – 2,0 reizes (6. att.).



6. att. Kopcukuru satura izmaiņas graudos
Fig. 6. Changes of total sugars in grains

• **Vitamīnu daudzuma izmaiņas graudos aktivēšanas procesā.** Graudu bioloģiskās aktivēšanas gaitā novērojama B₁ vitamīna satura pazemināšanās (7. att.). Šīs izmaiņas izskaidrojamas ar metabolisma procesu un bioķīmisko reakciju norisi graudos. Līdz 24 h aktivētos kviešu graudos B₁ vitamīna daudzums sarūk par 32,10%, rudzos – par 57,78%, kailgraudu miežos – par 17,39%. Vitamīna satura samazināšanās izskaidrojama ar to, ka B₁ vitamīns ietilpst fermenta piruvātdekarboksilāzes sastāvā un piedalās ogļhidrātu veidošanās un sadalīšanās procesos graudā, kā arī piedalās pirovīnogskābes šķelšanā.



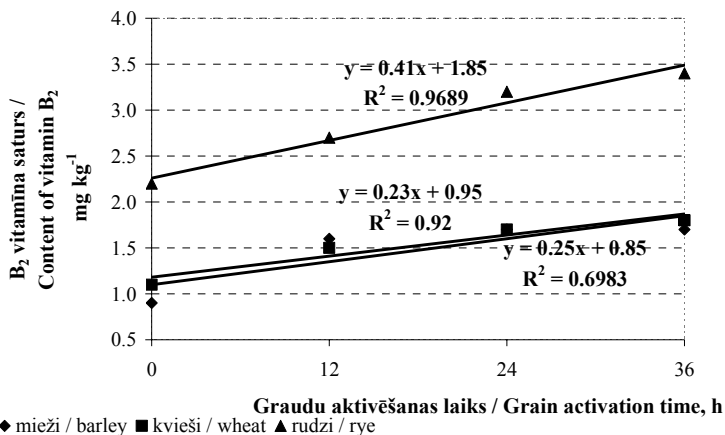
7. att. B₁ vitamīna satura samazināšanās graudos aktivēšanas procesā
 Fig. 7. Decrease of B₁ vitamin content in the grain activation process

B₂ vitamīna daudzums līdz 24 h aktivētos graudos palielinās: rudzos – par 45,5%, kviešos – par 54,5%, kailgraudu miežos – par 88,9% (8. att.). Kailgraudu miežu un kviešu graudos vitamīna daudzuma palielināšanās notiek gandrīz vienādi. Rudzi ir bagātāki ar B₂ vitamīnu, tā satura palielinājums graudos notiek intensīvāk. Tas izskaidrojams tādējādi, ka miera periods rudziem ir īsāks, tāpēc arī dzīvības procesi norisinās daudz intensīvāk nekā kviešos un miežos.

Neaktivēti kviešu graudi ir par 70,10% bagātāki ar niacīnu nekā rudzi un par 57,23% nekā kailgraudu mieži. Kailgraudu miežu un rudzu graudos aktivēšanas laikā novērojama intensīvāka niacīna daudzuma palielināšanās. Salīdzinot ar kontroles paraugiem, niacīna saturs kviešu graudos, aktivējot līdz 24 h, pieaug 1,3 reizes, rudzos – 2,6 reizes, kailgraudu miežos – 2,1 reizi.

Jāatzīmē, ka neaktivētos graudos C vitamīns nav konstatēts un tas sintezējas tikai aktivēšanas laikā. Visintensīvākā C vitamīna sintēze 24 h aktivēšanas procesā novērojama kviešu un rudzu graudos, sasniedzot attiecīgi 71,0 un

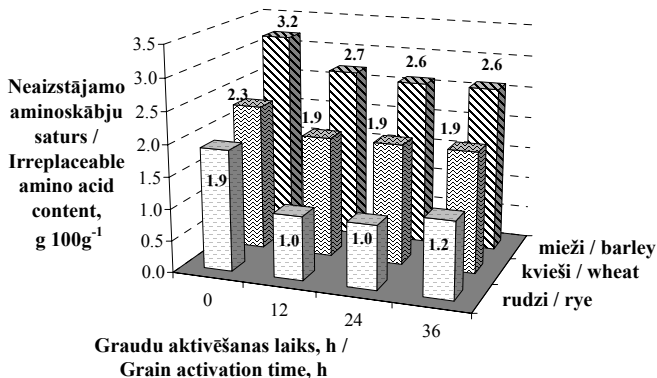
69,4 mg kg⁻¹, bet kailgraudu miežos C vitamīns sintezējas tikai līdz 26,9 mg kg⁻¹.



8. att. B₂ vitamīna satura izmaiņas graudos aktivēšanas procesā
Fig. 8. Changes of vitamin B₂ content in the grain activation process

Straujāk E vitamīna saturs palielinās rudzos un kviešos. Graudus aktivējot līdz 24 h, rudzos vitamīna daudzums palielinās 6,2 reizes, kviešos – 6,5 reizes un kailgraudu miežos – 1,7 reizes.

• Neaizstājamo aminoskābju sastāva izmaiņas graudu aktivēšanas laikā. Salīdzinot ar neaktivētiem rudziem un kviešiem, visbagātākie ar neaizstājamām aminoskābēm ir neaktivēti kailgraudu mieži (9. att.).

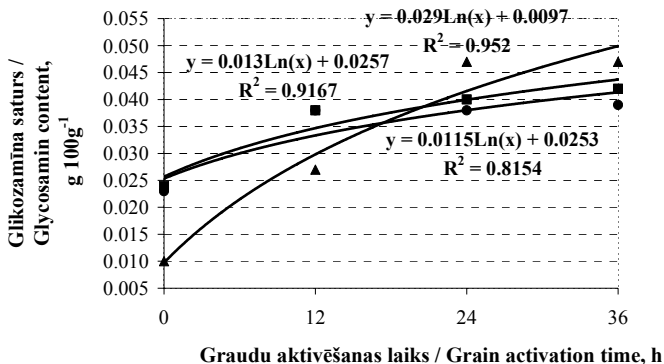


9. att. Kopējo neaizstājamo aminoskābju satura izmaiņas graudos aktivēšanas laikā

Fig. 9. Changes of the content of total irreplaceable amino acid in grains at the activation time

Graudus aktivējot līdz 24 h, neaizstājamo aminoskābju daudzums kailgraudu miežos samazinās par 18,8%, kviešos – par 17,4%, rudzos – par 47,4%. Tas izskaidrojams ar aminoskābju pastiprināto izmantošanu graudos bioķīmiskās reakcijās dzīvības procesu norisē.

- **Glikozamīna saturs izmaiņas.** Visvairāk glikozamīna ir neaktivētos kviešu ($0,023 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) un rudzu ($0,024 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) graudos (10. att.). Neaktivētos kailgraudu miežos tā ir tikai $0,01 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$.



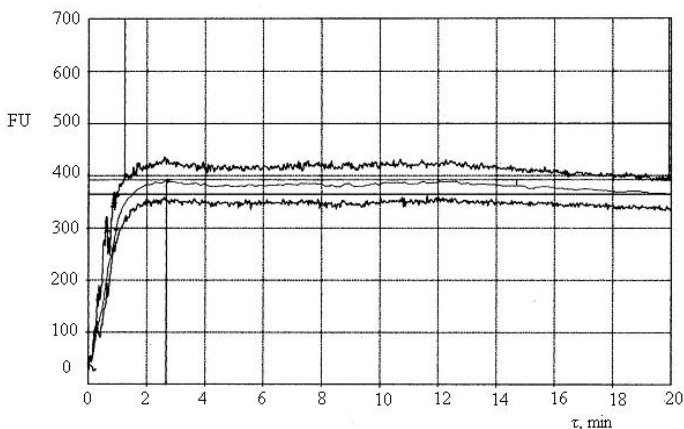
● kvieši / wheat ■ rudzi / rye ▲ mieži / barley

10. att. Glikozamīna saturs izmaiņas graudu aktivēšanas laikā
 Fig. 10. Changes of glycosamin content during grain activation

Salīdzinot ar neaktivētiem graudiem, glikozamīna saturs visstraujāk – 4,7 reizes – palielinās 24 h aktivētos kailgraudu miežos, rudzos un kviešos – 1,7 reizes. Glikozamīns kā bioloģiski aktīvs savienojums, kas ietilpst glikopeptīdu sastāvā, ir imunitātes mediators cilvēka organismā. Pievienojot mīklai graudus, kas satur glikozamīnu, paaugstinās maizes bioloģiskā vērtība.

Kviešu mīklas kvalitātes izvērtējums

- **Mīklas reoloģijas izvērtējums.** Izpētītas kviešu mīklas reoloģisko īpašību izmaiņas pēc 24 un 36 h aktivētus kviešu, rudzu un kailgraudu miežu graudu pievienošanas. Augstāki kvalitātes parametri iegūti kviešu mīklai ar 24 h aktivētu kviešu graudu piedevu (25% no miltu masas). Pēc 24 stundas aktivētu kviešu graudu pievienošanas mīklas kvalitātes vērtība palielinās līdz 200 FU (11. att.). Salīdzinot ar kontroles paraugu, mīklas stabilitāte nedaudz samazinās – par 0,2 min. Mīklas konsistence atbilst 392 FU ar ūdens absorbcijas spēju 43,3 %, mīklas veidošanas laiks ir 2,7 min. Kaut arī šādai mīklai ir neapmierinoša izplūstamības pakāpe, no tās ceptai maizei, ir laba kvalitāte.



11. att. Mīklas parauga ar 24 h aktivētu kviešu graudu piedevu farinogramma
Fig. 11. Pharynogram for the dough with wheat grain additive activated for 24 h

Mīklai, kurai pievienoti 24 h aktivēti rudzu graudi 35% no miltu masas, kvalitātes vērtība ir par 76,5% zemāka nekā kontroles paraugam. Stabilitāte ir zema, tā ir līdzīga kā mīklai ar 36 h aktivētu kviešu graudu piedevu. Mīklas izplūstamības pakāpes vērtība ir apmierinoša – 121 FU, veidošanas laiks – par 1,3 min īsāks nekā kontroles paraugam un mīklai ar 24 h aktivētu kviešu graudu piedevu. No šādas mīklas ceptai maizei ir laba kvalitāte.

Mīklai, kurai pievienoti 24 h aktivēti kailgraudu mieži 45% no miltu masas, kvalitātes vērtība ir 3,8 reizes zemāka nekā kontroles paraugam, mīklas stabilitāte nav līdzīga kā kontroles paraugam – 3,3 min, taču produktam ar šādu graudu piedevu ir laba kvalitāte.

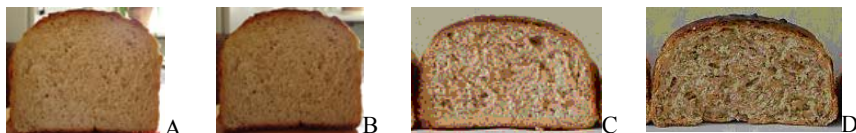
Mīklas reoloģisko īpašību būtiska pasliktināšanās pēc 36 h aktivētu graudu pievienošanas skaidrojama ar lipekļa kvalitātes izmaiņām graudu aktivēšanas laikā – notiek daļēja olbaltumvielu proteolīze. Novērojama disulfidsaišu skaita samazināšanās un sulfhidrīlgrupu daudzuma palielināšanās. Šķeļas galvenokārt slēptās disulfidsaites (albumīnos un globulīnos). Graudus aktivējot līdz 24 h, disulfidsaites tiek sašķeltas tikai par 19%, bet slēptās disulfidsaites paliek neaiziktas – līdz ar to lipekļa kvalitāte būtiski nemainās. Ja graudus aktivē ilgāk, disulfidsaišu skaits samazinās par 64%, slēptās disulfidsaites sašķeļas par 58% un notiek lipekļa dezagregācija.

- **Mīklas fizikāli ķīmisko parametru raksturojums.** Viszemākais mīklas skābuma rādītājs ir paraugam ar aktivētu kviešu graudu piedevu, jo tās apjoms, salīdzinot ar rudzu un miežu graudu piedevu, ir vismazākais – 25% no miltu masas.

Paaugstināts mitrums konstatēts mīklas paraugam, kam pievienoti aktivēti rudzu graudi 35% no miltu masas. Tas izskaidrojams ar graudu palielināto ūdens adsorbciju aktivēšanās laikā.

Gatavā produkta kvalitātes izvērtējums

Par labākajiem atzīti maizes paraugi, kurus gatavojot kviešu mīklai pievienoti samalti 35% rudzu, 45% kailgraudu miežu un 25% kviešu graudi (12. att).



12. att. Kviešu maizes paraugi: kontroles (A), ar aktivētiem kviešiem (B), rudziem (C), kailgraudu miežiem (D)

Fig. 12. Wheat bread samples: control (A), with activated wheat (B), rye (C), hull-less barley (D) grain

- **Maizes mīkstuma krāsas intensitātes novērtējums.** Visintensīvākā maizes mīkstuma krāsa (L^*) – 74,58 – ir kontroles paraugam, tā būtiski atšķiras no eksperimentos iegūto izstrādājumu krāsas. Pētījumos konstatēts, ka kviešu maizei pēc aktivētu graudu pievienošanas mīkstums kļūst tumšāks.

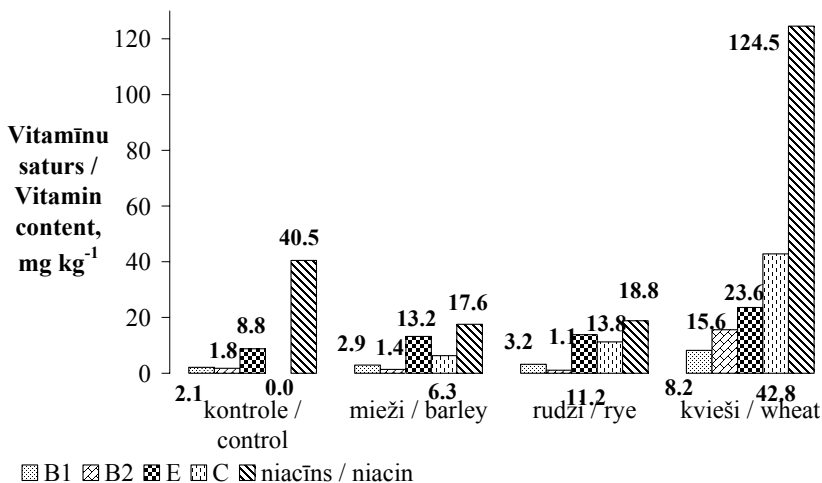
- **Maizes porainības, mitruma un pH novērtējums.** Vislabākā porainība ir kviešu maizei ar aktivētu kviešu graudu piedevu 25% no miltu masas – tā ir par 8,2% augstāka nekā kontroles paraugam. Tas izskaidrojams ar intensīvāku rūgšanas procesa norisi mīklā, kurai pievienoti aktivēti kviešu graudi. Mīklā ir samazināts sausas satur, kas palielina raugu aktivitāti. Maizes porainība izstrādājumiem ar rudzu un kailgraudu miežu piedevu ir zemāka nekā kontroles paraugam, jo graudu piedeva (35% rudzi un 45% kailgraudu mieži) kviešu mīklā palielina sausas saturu un samazina raudzēšanas procesa intensitāti.

Salīdzinot ar kontroles paraugu, pH vērtība visiem maizes paraugiem ir gandrīz vienāda (no pH 5,3 līdz 5,8).

Visaugstākais mitrums ir maizei, kurai pievienoti aktivēti rudzu graudi, jo tiem aktivēšanas laikā novērojama palielināta ūdens adsorbcija – graudu mitrums aktivēšanas laikā līdz 24 h palielinās no 13,3 līdz 34,1%.

- **Vitamīnu saturs maizē.** Visvairāk vitamīnu ir kviešu maizē ar aktivētu kviešu graudu piedevu, salīdzinot ar kontroles maizes paraugu, niacīna saturs palielinājies 3,1 reizi, E vitamīna – 2,7 reizes, B_2 – 8,7 reizes un B_1 – 4,1 reizi (13. att.). Kontroles paraugā C vitamīna nav, taču maizē ar aktivētu kviešu

graudu piedevu tā saturs ir 42,8 mg kg⁻¹, jo graudos bioloģiskās aktivēšanās laikā notiek vitamīnu sintēze.



13. att. Vitamīnu satura dinamika maizes paraugos
Fig. 13. Dynamics of vitamin content in bread samples

Maizes paraugiem, kuriem pievienoti aktivēti rudzu (35% no miltu masas) un kailgraudu miežu (45% no miltu masas) graudi, niacīna saturs ir zemāks attiecīgi 2,1 un 2,3 reizes, B₂ vitamīna – 1,6 un 1,3 reizes (13. att.), jo minēto vitamīnu jau neaktivētos graudos ir maz.

Maizē ar aktivētu rudzu un kailgraudu miežu graudu piedevām B₁ un E vitamīnu daudzums ir lielāks attiecīgi 1,6 un 1,5 reizes (13. att.). Kontrolē paraugā C vitamīns nav konstatēts, savukārt maizē, kurai pievienoti rudzu un kailgraudu miežu graudi vitamīna saturs ir attiecīgi 11,2 un 6,3 mg kg⁻¹.

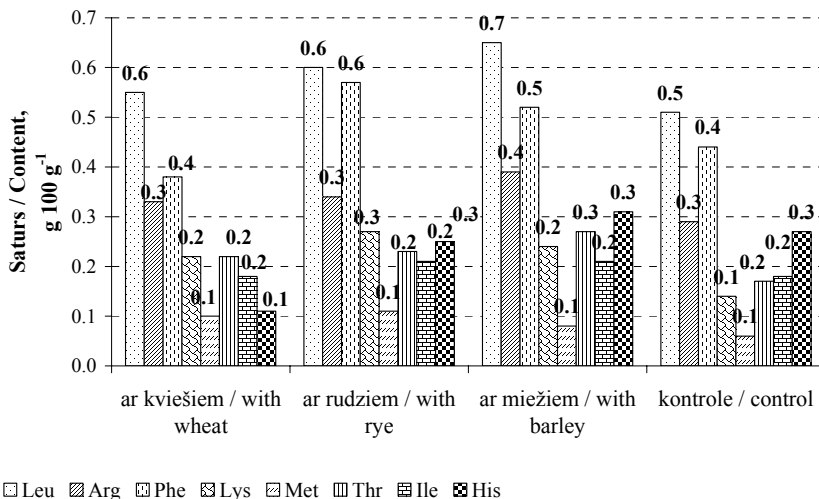
• **Maizes paraugu kopproteīna, kopcukuru, šķiedrvielu un tauku daudzuma izmaiņu raksturojums.** Salīdzinot ar kontrolē paraugu, visvairāk kopproteīna – 24,6% no sausnas – ir kviešu maizē ar aktivētu kailgraudu miežu piedevu. Tas ir tāpēc, ka jau neaktivētos kailgraudu miežos kopproteīna saturs ir 17,35%, kā arī pievienotais aktivēto graudu daudzums mīklai ir vislielākais (45%). Maizei ar aktivētiem rudzu graudiem kopproteīna saturs ir 20,9% no sausnas, ar kviešiem – 14,3%.

Visvairāk kopcukuru – 18,7% – ir kviešu maizē ar aktivētu kviešu graudu piedevu, ar aktivētiem rudziem un kailgraudu miežiem to ir attiecīgi 13,1 un 12,0%. Salīdzinot ar kontrolē paraugu kopcukuru saturs kviešu maizē ar aktivētiem kviešu graudiem ir 1,1 reizi augstāks, taču izstrādājumos ar rudziem un kailgraudu miežiem – attiecīgi 1,4 un 1,5 reizes zemāks.

Šķiedrvielu saturs maizē ar aktivētu kailgraudu miežu un kviešu graudu piedevu ir 1,4 reizes un ar rudzu graudiem – 1,8 reizes lielāks nekā kontroles paraugā. Tas izskaidrojams ar šķiedrvielu daudzuma pieaugumu graudu aktivēšanas laikā, respektīvi, šādu graudu piedeva ļauj palielināt šķiedrvielu daudzumu arī maizē.

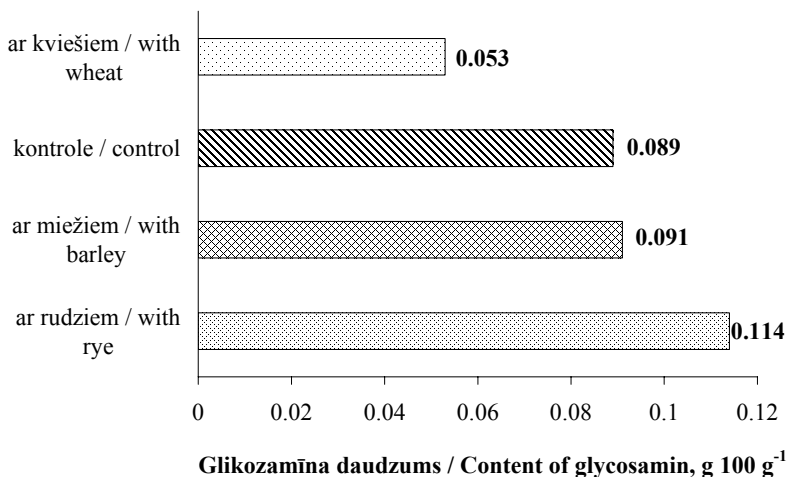
Tauku satura izmaiņas nav būtiskas: maizē ar rudzu graudu piedevu tās pieaug no 0,26 līdz 0,46%, paraugā ar kailgraudu miežiem – no 0,26 līdz 0,43% ar kviešu graudiem – no 0,26 līdz 0,3%.

• **Neaizstājamo aminoskābju sastāva izmaiņas.** Kā redzams no eksperimentos iegūtajiem datiem, visvairāk neaizstājamo aminoskābju (leicīns – 0,65 g 100 g⁻¹, arginīns – 0,39 g 100 g⁻¹, treonīns – 0,27 g 100 g⁻¹, izoleicīns – 0,21 g 100 g⁻¹ un histidīns – 0,31 g 100 g⁻¹) ir kviešu maizē ar aktivētu kailgraudu miežu piedevu, jo tā ir vislielākā (45%) un pēc graudu 24 h aktivēšanas šo aminoskābju daudzums kailgraudu miežos ir visaugstākais (14. att).



14. att. Neaizstājamo aminoskābju saturs kviešu maizes paraugos
Fig. 14. Irreplaceable amino acid content in wheat bread sample

• **Glikozamīna saturs maizes paraugos.** Glikozamīna daudzums kviešu maizē ar aktivētu kviešu graudu piedevu ir būtiski atšķirīgs nekā pārējos izstrādājumos – tas ir par 40,45% mazāks nekā kontroles paraugā un maizē ar aktivētiem kailgraudu miežiem un par 53,51% – nekā paraugā ar aktivētiem rudziem (15. att.).

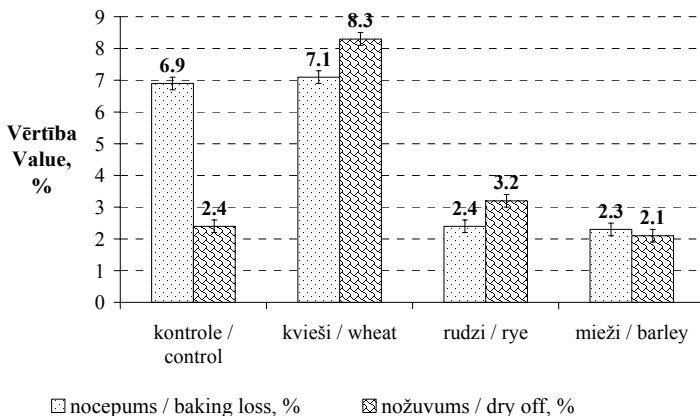


15. att. Glikozamīna saturs kviešu maizes paraugos
 Fig. 15. Content of glycosamin in wheat bread samples

Iegūtie rezultāti skaidrojami ar to, ka neaktivētos graudos glikozamīna saturs ir šāds: kviešos – 0,023 g 100 g⁻¹, rudzos – 0,024 g 100 g⁻¹ un kailgraudu miežos – 0,010 g 100 g⁻¹. Aktivēšanas laikā graudos tā daudzums palielinās: kviešos – līdz 0,038 g 100 g⁻¹, rudzos – līdz 0,040 g 100 g⁻¹ un kailgraudu miežos – līdz 0,047 g 100 g⁻¹.

- **Maizes nocepuma un nožuvuma vērtību izmaiņas.** Maizes nocepums ir lielākie zudumi maizes cepšanas tehnoloģiskajā procesā. Pēc literatūras datiem, nožuvums ir maizes masas samazināšanās atdzesēšanas laikā un tas ir robežās no 3,5 līdz 4,5% no karstas maizes masas vai 5–6% no miltu masas. Salīdzinot ar kontroles paraugu, maizei ar aktivētu rudzu un kailgraudu miežu graudu piedevu nocepums samazinās aptuveni trīs reizes, bet izstrādājumam ar aktivētiem kviešiem tas ir par 0,2% augstāks (16. att.).

No pētījumos iegūtajiem datiem var secināt, ka augstākais nožuvums ir maizei ar aktivētu kviešu graudu piedevu – salīdzinot ar kontroles paraugu, tas palielinājies no 2,4 līdz 8,3%. Izstrādājumam ar rudziem nožuvums palielinājies tikai no 2,4 līdz 3,2%, bet paraugam ar kailgraudu miežiem tas samazinājies no 2,4 līdz 2,1%.

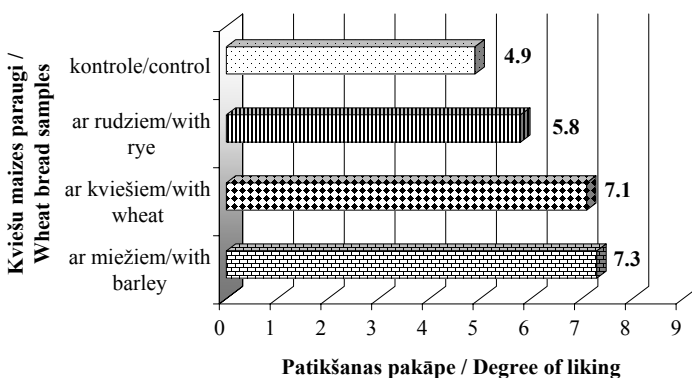


16. att. Nožuvuma un nocepuma vērtības izmaiņas maizes paraugiem
 Fig. 16. Changes in the values of dry off and baking loss in bread samples

Maizes sensorais novērtējums

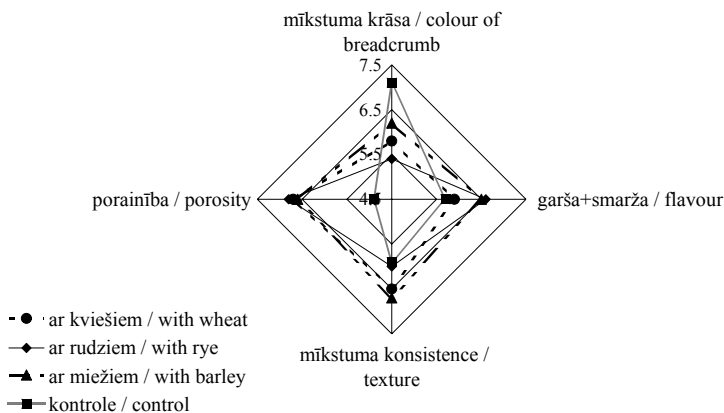
Lietojot hēdonisko skalu, tika iegūta informācija (17. att.), kā jaunie produkti patikuši vērtētājiem.

Rezultāti rāda, ka novērtējums ir robežās no $4,9 \pm 0,3$ (ne patīk, ne nepatīk) līdz $7,3 \pm 0,3$ (ļoti patīk). Augstāko novērtējumu saņēma maize ar aktivētu kailgraudu miežu (7,3) un kviešu (7,1) graudu piedevu, bet kontroles paraugs novērtēts viszemāk – ar “mazliet nepatīk” (4,9). Augstāks novērtējums izstrādājumiem ar aktivētu kviešu un kailgraudu miežu piedevu izskaidrojams ar patīkamu izteiktu graudu garšu.



17. att. Maizes paraugu hēdoniskā novērtējuma rezultāti
 Fig. 17. Results of the hedonic scaling of bread samples

Ar līniskalas metodi tika vērtētas maizes paraugu nozīmīgākās sensorās īpašības: mīkstuma krāsa, garša + smarža, mīkstuma konsistence, porainība. Šāds sensorais vērtējums parāda jauno izstrādājumu sensoro īpašību atšķirības salīdzinājumā ar kontroles paraugu. Maizes sensoro īpašību analīzes rezultāti redzami 18. attēlā.



18. att. Maizes paraugu sensoro īpašību lielumu staru diagramma

Fig. 18. Star diagram of sensory properties of bread samples

Sensorās vērtēšanas rezultātus izpētot ar dispersijas analīzi (ANOVA), var secināt, ka jaunie maizes izstrādājumi no kontroles parauga atšķiras galvenokārt ar krāsas intensitāti un porainību.

Kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu kvalitātes izmaiņas uzglabāšanas laikā

• **Mitruma izmaiņas.** Atbilstoši SIA “JLM grupa” Jelgavas ražotnē izstrādātiem noteikumiem minimālais mitruma daudzums maizei no kviešu un rudzu miltu maisījuma, kad tā vēl uzskatāma par svaigu, ir 38%. Eksperimentāli noteikts, ka maizei ar aktivētiem kviešu graudiem sākuma mitrums ir 42% un kontroles paraugam – 40%.

Maizi iepakojot atbilstoši jaunākajām tehnoloģijām, tās uzglabāšanas laiku iespējams ievērojami pagarināt: PP maisiņos ar iesmidzinātu etilspirtu – līdz 26 dienām, MAP (30% CO₂ + 70% N₂) – līdz 19 dienām un MAP (100% CO₂ + C₂H₅OH) – līdz 32 dienām. Tādējādi, iepakojot maizi PP maisiņos gaisa vidē ar iesmidzinātu etilspirta tvaiku, tās uzglabāšanas laiku var pagarināt aptuveni trīs reizes, bet aizsarggāzu vidē (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) – līdz pat četrām reizēm, salīdzinot ar iepakojumu PVC plēvē gaisa vidē.

- **Porainības izmaiņas.** Maizi uzskata par svaigu, ja tās porainība nav mazāka par 67% (pēc noteikumiem, kas izstrādāti SIA “JLM grupa” Jelgavas ražotnē).

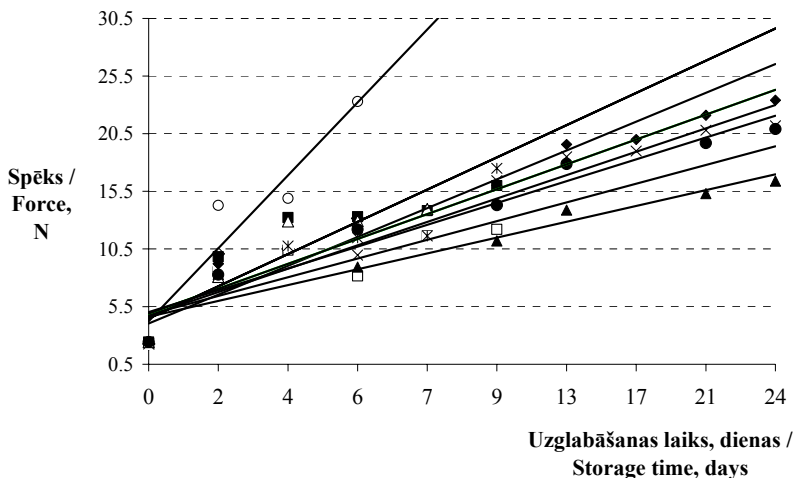
Eksperimentos iegūtajiem paraugiem ar aktivētu kviešu graudu piedevu mīkstuma porainība pēc cepšanas ir 73%. Izstrādājumus iepakojot neperforētos PP maisiņos, uzglabāšanas laiku var pagarināt līdz astoņām dienām, PVC plēvē – līdz deviņām dienām, MAP (30% CO₂ + 70% N₂) – līdz 14 dienām, perforētos PP maisiņos – līdz desmit dienām, PP maisiņos ar iesmidzinātu etilspirtu – līdz 24 dienām, MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) – līdz pat 35 dienām. No iepriekš minētā var secināt, ka piemērotākais iepakojšanas veids maizei ar aktivētu kviešu graudu piedevu ir PP maisiņi ar iesmidzinātu etilspirtu un MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH).

- **pH izmaiņas.** Skābums maizei ar aktivētiem kviešu graudiem ir pH 5,6 un kontroles paraugam – pH 5,31. Pēc eksperimentāli iegūtajiem datiem var secināt, ka vispiemērotākā iepakojšanas metode izstrādājumiem ar aktivētu graudu piedevu ir perforēti PP maisiņi (uzglabāšanas laiks – līdz deviņām dienām) un PP maisiņi ar iesmidzinātu etilspirtu, maizes uzglabāšanas laiku var pagarināt pat līdz 24 dienām bez būtiskām kvalitātes izmaiņām.

- **Maizes mīkstuma cietības izmaiņas.** Vislēnāk sacietē maize, kam pievienoti aktivēti kviešu graudi un kas iepakota PP maisiņos gaisa vidē ar iesmidzinātu etilspirta tvaiku, kā arī PP maisiņos gaisa vidē un aizsarggāzu vidē ar iesmidzinātu etilspirta tvaiku (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH). Maizi iepriekš minētajos iepakojumos uzglabājot 21 dienu, tās cietība pieaug: PP maisiņos ar iesmidzinātu etilspirtu – 6,7 reizes, MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) – 9,2 reizes. Savukārt PP maisiņos deviņās dienās cietība, salīdzinot ar sākotnējo, palielinājās 5,4 reizes (19. att.).

Jāatzīmē, ka aktivēto graudu piedeva palēnina maizes sacietēšanas procesu. Izstrādājumi ar aktivētiem graudiem, iepakoti PP maisiņos ar iesmidzinātu etilspirtu, sacietē jau pēc deviņām dienām, MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) – pēc 17 dienām, jo mitruma pārvietošanās šādā maizē notiek lēnāk, tādēļ tā ilgāk saglabājas svaiga. Vienlaicīgi pievienotais aktivēto graudu daudzums palielina maizes kopproteīnu, kopcukuru un šķiedrvielu saturu, kas aizkavē maizē esošās cietes retrogradācijas procesa norisi.

Nav ieteicams maizi fasēt PVC plēvē, jo šādā iepakojumā maizes cietība palielinās sešas reizes jau sestajā uzglabāšanas dienā.

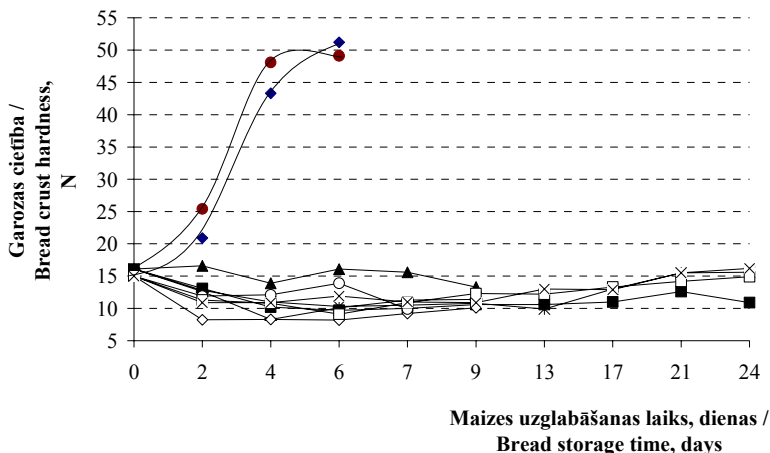


19. att. Kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu un kontroles paraugu mīkstuma cietības izmaiņas uzglabāšanas laikā
 Fig. 19. Changes of wheat bread with activated wheat grain additive and control samples bread crumb hardness in the storage time

- ◆ PVC plēve / PVC film; ○ PVC plēve (kontrolē) / PVC film (control);
- △ perforētie PP maisiņi / perforated PP bags,
- ★ perforētie PP maisiņi (kontrolē) / perforated PP bags (control);
- ◇ MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH);
- × MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) (kontrolē);
- PP maisiņi / PP bags; ■ PP maisiņi (kontrolē) / PP bags (control);
- ▲ PP maisiņi (gaiss + C₂H₅OH) / PP bags (air + C₂H₅OH);
- PP maisiņi (gaiss + C₂H₅OH) (kontrolē) / PP bags (air + C₂H₅OH) (control).

• **Maizes mīkstuma absolūtās krāsas izmaiņas.** Absolūtā krāsa raksturo krāsu dažādības. Visaugstākā absolūtās krāsas diference maizes uzglabāšanas laikā ir gan kviešu maizei ar aktivētu kviešu graudu piedevu, gan kontroles paraugam, kas iepakoti perforētos PP maisiņos. Tas saistīts ar skābekļa piekļuvi maizei.

• **Maizes virsējās garozas cietības izmaiņas uzglabāšanas laikā.** Pētījumu mērķis bija noteikt sakarības starp kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu uzglabāšanas laiku, iepakojuma materiālu un iepakojuma vidi (20. att.).



20. att. Maizes garozas cietības izmaiņas uzglabāšanas laikā
Fig. 20. Changes of bread crust hardness in the storage time

- ♦PVC plēve / PVC film; ●PVC plēve (kontrolē) / PVC film (control);
- ▲ perforēti PP maisiņi / perforated PP bags;
- perforēti PP maisiņi(kontrolē) / perforated PP bags (control);
- PP maisiņi / PP bags; ◇ PP maisiņi (kontrolē) / PP bags (control);
- PP maisiņi (gaiss + C₂H₅OH) / PP bags (air + C₂H₅OH);
- PP maisiņi (gaiss + C₂H₅OH) (kontrolē) / PP bags (air + C₂H₅OH) (control);
- * MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH); × (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) (control).

Pieņemam, ka uzglabāšanas laikā maizes kvalitāti (mērīta maizes garozas maksimālā cietība, N) būtiski ietekmē uzglabāšanas laiks, iepakojuma materiāls un iepakošanas vide un ka pastāv kvalitātes atšķirības starp kviešu maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu un kontroles paraugu.

Maizes garozas cietība pētīta, paraugus iepakojot plašāk lietotajos iepakojuma materiālos – PVC plēvē, perforētos un neperforētos PP maisiņos –, kā arī iepakošanas vidē, kas ļauj ilgāk saglabāt maizes kvalitāti uzglabāšanas laikā, – PP maisiņos ar iesmidzinātu etilspirta tvaiku un aizsarggāzu vidē ar iesmidzinātu etilspirta tvaiku (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH).

Izmantojot dispersijas analīzi (atkarīgā pazīme ir garozas maksimālās cietības vienība Ņūtons, neatkarīgās pazīmes ir iepakojuma materiāli, maizes veidi un uzglabāšanas laiks), ar 95% ticamību noteikts, ka būtiska ietekme maizes garozas cietības palielināšanā uzglabāšanas laikā ir iepakojuma materiālam. Tas skaidrojams tādējādi, ka maizes uzglabāšanas laikā notiek mitruma migrācija no kukuliša iekšienes uz ārpusi, un, jo ilgāks uzglabāšanas laiks, jo intensīvāka tā kļūst. Savukārt dažādi iepakojuma materiāli var nedaudz palēnināt mitruma pārvietošanos, tādējādi arī saglabājot maizes kvalitāti ilgāku laiku, jo tas saistīts ar dažādu materiālu atšķirīgām barjerīpašībām – mitruma

caurlaidību. Atšķirības nepastāv starp paraugu kvalitātes izmaiņām (jo $P = 0,7 > \alpha = 0,05$), jo kontroles parauga un maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu mitruma saturs ir ļoti līdzīgs: attiecīgi 40 un 42%.

Katru iepakojuma veidu salīdzinot ar pārējiem, aprēķinos kā atkarīgā pazīmi ir maizes garozas maksimālās cietības izmaiņas (Nūtonos) uzglabāšanas laikā. Analīzei izmanto Šefī (*Scheffe*) testu.

Ar Šefī testa palīdzību noskaidro, kuras faktoru gradācijas klases savstarpēji būtiski atšķiras. Konstatēts, ka PVC plēvē un neperforētos PP maisiņos fasētas maizes cietības izmaiņas uzglabāšanas laikā ir būtiski atšķirīgas nekā maizei, kas iepakota perforētos PP maisiņos, MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) un neperforētos PP maisiņos (gaiss + C₂H₅OH). PVC plēve un neperforēti PP maisiņi būtiski ietekmē maizes cietības izmaiņas uzglabāšanas laikā (mitruma migrācija notiek visstraujāk), pasliktinot maizes kvalitāti. Tas skaidrojams ar iepakojuma materiālu iespējamo ļoti augsto mitruma caurlaidību.

Visstraujākais maizes garozas cietības palielinājums jau sešu dienu uzglabāšanas laikā novērojams kontroles paraugam un jaunizstrādātajai maizei, ja tie iesaiņoti PVC plēvē. Nav lineāras sakarības starp maizes garozas cietības izmaiņām un maizes uzglabāšanas laiku. Izmaiņas notiek ļoti nevienmērīgi – perforētos PP maisiņos fasētā maizē – mitrums difundē no kukuliša iekšienes uz iepakojuma vidi un tālāk caur plēvi uz apkārtējo vidi. Maizes garozas cietība strauji samazinās pirmajās divās uzglabāšanas dienās, ja paraugi iepakoti neperforētos PP maisiņos, mitrums difundē no kukuliša iekšienes uz garozu un tā kļūst mitrāka. Turpinot uzglabāšanu, garozas cietība tikpat kā neizmainās, tātad iestājas līdzsvars starp mitruma daudzumu, kas pārvietojas no kukuliša iekšienes uz perifēriju un no garozas uz iepakojuma vidi.

Matemātiskā modeļa izveidošana

Izmantojot eksperimentālos datus, izstrādāts matemātiskais modelis. Tā modeļa veidošanai izmanto krišanas skaitļa izmaiņu apgabalu, kurā graudu bioloģiskās aktivēšanas laikā notiek krišanas skaitļa maksimālās izmaiņas. Aprēķina piemērs dots kviešu graudu paraugam bioloģiskās aktivēšanas dažādos laika periodos līdz 36 stundām.

Matemātiskā modeļa izveidošanas mērķis ir pārbaudīt izvirzīto **pieņēmumu**: bioloģiskās aktivēšanas laikā graudos norit intensīvi bioķīmiskie procesi – notiek bioloģiski aktīvo vielu (ogļhidrātu, olbaltumvielu, tauku) šķelšana, šīs vielas ir svarīgs enerģijas avots graudu dzīvības procesu norisei. Dzīvības procesam graudā turpinoties, aktīvās vielas sāk sintezēties no jauna, lai nodrošinātu grauda augšanu. Tāpēc pieņemam, ka aktīvo vielu šķelšanās ātrums ir proporcionāls šo vielu daudzumam. Tā kā nav iespējams noteikt bioloģisko procesu norises ātrumu, atkarība no graudu šķirnes un aktivēšanas apstākļiem, pirmajā tuvinājumā var pieņemt, ka šie procesi notiek ar konstantu ātrumu V (jo nav zināms, kādi dzīvības procesi kurā brīdī un ar kādu ātrumu notiek

graudā). Aktīvo vielu sintēzes ietekmē iespējams arī krišanas skaitļa vērtības pieaugums.

Procesam sastāda diferenciālvienādojumu (1.)

$$\frac{dK}{dt} + \frac{K}{\tau} = V, \quad (1.)$$

kur $\frac{dK}{dt}$ – krišanas skaitļa vērtības izmaiņu ātrums aktivēšanas laikā;

K – krišanas skaitlis, s;

τ – procesa laika konstante;

V – aktīvo vielu (cietes) sintēzes procesa ātrums, izteikts caur krišanas skaitļa izmaiņas ātrumu.

Sākuma nosacījums diferenciālvienādojumam ir šāds (2.):

$$K|_{t=0} = K_0, \quad (2.)$$

kur K_0 – krišanas skaitļa sākuma vērtība, s.

Sastādītais diferenciālvienādojums ir pirmās kārtas lineārs, nehomogēns diferenciālvienādojums ar konstantiem koeficientiem, ko var atrisināt pēc Eilera metodes. Problēmu (1. un 2.) atrisinājums ir aprakstīts formulā 3.:

$$K(t) = (K_0 - \tau \cdot V) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \tau \cdot V, \quad (3.)$$

kur $K(t)$ – krišanas skaitļa atkarība no aktivēšanas laika;

e – naturālo logaritmu bāze;

t – laiks, h.

Lai atrisinājumā 3. noteiktu lielumus τ un V , to aprobēsīm ar mazāka kvadrāta metodi, izmantojot eksperimentālos datus. Sastāda summu (4.):

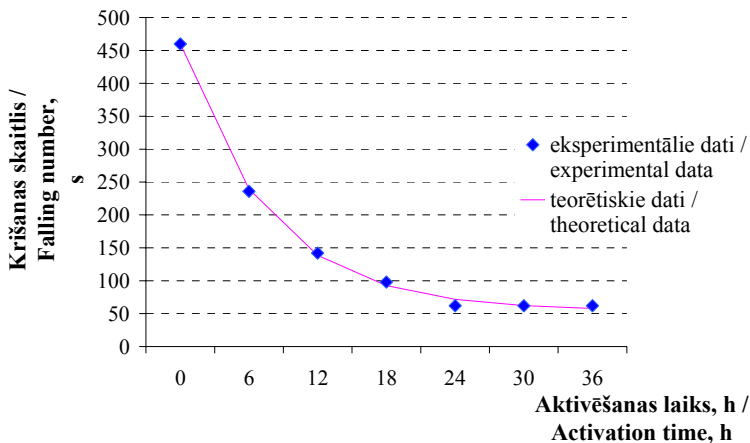
$$S = \sum_i [K_{\text{eksp}}(t)_i - K_t(t)_i]^2 = \left[K_{\text{eksp}}(t)_i - ((K_0 - \tau \cdot V) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \tau \cdot V) \right]^2 \quad (4.)$$

kur S – kvadrātu summa;

$K_{\text{eksp.}}(t)_i$ – krišanas skaitļa eksperimentālās vērtības atkarībā no aktivēšanas laika;

$K_t(t)_i$ – krišanas skaitļa teorētiskās vērtības atkarībā no aktivēšanas laika.

Summas (4.) minimalizēšanai lieto skaitliskas risināšanas metodes – Microsoft Excel rīku „SOLVER”. Izmantojot iegūtos eksperimentālos datus un summu 4. aprēķina koeficientus τ (7,63) un V (7,13). Lietojot iegūtos koeficientus aprēķinā teorētiskās vērtības krišanas skaitļa izmaiņu līknei. Krišanas skaitļa izmaiņu kviešu graudu bioloģiskās aktivēšanas laikā līkne redzamas 21. attēlā.



21. att. Teorētiskā un praktiskā krišanas skaitļa izmaiņu līkne kviešu graudiem aktivēšanas laikā

Fig. 21. Curve for the value changes of theoretical and practical falling number in wheat grains during the activation time

Ja pieņem, ka ģenerālkopu dispersijas ir vienādas, tad nulles hipotēzi var pārbaudīt, izmantojot MS Excel datu analīzes rīku „t-test” – Two-Sample Assuming Equal variances. To lieto, lai pārbaudītu, vai starp teorētiski un praktiski iegūtajām kviešu graudu krišanas skaitļa vērtībām pastāv būtiska atšķirība. Tā, kā $t = -0,04 < t_{2k} = 1,94$ un vienpusējās alternatīvas P vērtība = $0,48 > 0,05$, tad ar 95% varbūtību nevar noraidīt nulles hipotēzi, ka eksperimentāli un teorētiski iegūtās krišanas skaitļa vērtības kviešu graudiem aktivēšanas laikā atšķiras.

SECINĀJUMI

1. Pētījumos noteikts, ka graudu bioloģiskās aktivēšanas optimālie apstākļi klimatiskajā kamerā ir $\varphi = 80 \pm 1 \%$, $t = +34 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 24 \text{ h}$.
2. Aktivēšanas laikā graudos intensīvi norit bioķīmiskie procesi, kas paaugstina graudu bioloģisko vērtību, – palielinās niacīna, B₂ un E vitamīna, kopcukuru, šķiedrvielu, glikozamīna saturs, sintezējas C vitamīns un, olbaltumvielām hidrolizējoties, veidojas neaizstājamās aminoskābes.
3. Aktivētu graudu optimālās piedevas kviešu mīklai ir šādas: kviešu graudi – 25%, rudzu – 35%, kailgraudu mieži – 45% no miltu masas.
4. Aktivēto graudu piedeva būtiski neizmaina kviešu mīklas reoloģiskās īpašības un kvalitāti.
5. Darbā izvirzītā hipotēze ir korekta, jo visiem kviešu maizes izstrādājumiem ar aktivētu kviešu, rudzu un kailgraudu miežu graudu piedevu piemīt paaugstināta bioloģiskā vērtība. Salīdzinot ar kontroles paraugu, tie ir bagātāki ar niacīnu, B₂, E un C vitamīnu, šķiedrvielām, neaizstājamām aminoskābēm, kopproteīnu un kopcukuriem, kā arī glikozamīnu.
6. Sensorās vērtēšanas rezultāti pēc hedoniskās skalas parāda, ka visaugstākā patikšanas pakāpe ir maizes paraugam ar aktivētu kviešu (7,1) un kailgraudu miežu (7,3) graudu piedevām, savukārt kontroles paraugam šī vērtība ir 4,9.
7. Maizes ar aktivētu kviešu graudu piedevu fizikālās īpašības uzglabāšanas laikā vismazāk izmainās, ja to iepakoj neperforētos PP maisiņos gaisa vidē ar iesmidzinātu etilspirta tvaiku un aizsarggāzu vidē ar iesmidzinātu etilspirta tvaiku.
8. Maizes cietību uzglabāšanas laikā būtiski ietekmē iepakojuma veids un materiāls – PVC plēvē un neperforētos PP maisiņos maize sacietē visātrāk.
9. Matemātiskā modeļa izveidošanai izvirzītais pieņēmums ir korekts: dzīvības procesam graudā turpinoties ilgāk par 36 h, aktīvās vielas sāk sintezēties no jauna, lai nodrošinātu grauda augšanu; procesi notiek ar konstantu ātrumu, tādēļ krišanas skaitļa vērtība palielinās.
10. Izveidoto matemātisko modeli var lietot kviešu, kā arī citu šķirņu graudu krišanas skaitļa vērtības izmaiņu prognozēšanai bioloģiskās aktivēšanas laikā.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Cereal products are the main part of human diet, as they contain high amount of proteins, carbohydrates, vitamins of group B and dietary fibre. Germinated seeds, grain and grain germs have already been used in food since ancient times. Vitamin C was found in soybean's germ in 1782, as a result such grains were used for the treatment of scurvy.

The literature provides a description of some examples on the use of germinated wheat grain in bread and confectionary industry.

The results of researches show that germinated grain is a healthy product and, if such grain is used in conventional food, it would intensify metabolism, strengthen immunity, compensate deficiency of vitamins and mineral substances, and normalize acid and alkali balance.

The main raw material in bread production is flour, which is produced from rye and wheat grain. It is necessary to remember, that the outside layer of grain is taken off in the grain grinding process. The amount of calories is almost identical in rye and wheat bread, yet rye bread has a higher biological value due to a higher content of vitamins, microelements, and dietary fibre. Bread with whole grain additive is popular in diet. Such products are very healthy, because grain has a whole germ, which contains fat soluble vitamin E, water soluble vitamins of group B, mineral substances, and microelements. Such products have a higher biological value compared to bread products without grain additive.

Nowadays customers set high demands for bread products such as – a wide variety of bread types, high biological value, excellent sensory properties, and availability on the market.

In literature the data on the increase of bread biological value by means of biologically activated rye and hull-less barley grain additive to dough, as well as on the changes of physically – chemical composition of grain during the activation time have not been found. Therefore the idea to add biologically activated rye, hull-less barley and wheat grain to dough, then to examine the quality and biological value of new products; and to determine the optimal storage conditions for bread was developed.

The results of the performed research facilitate the projections that biologically activated grain additive to wheat dough can increase the dough quality and the prepared product would have a high biological value and excellent sensory properties, thus being competitive on the present market. Such grain additive allows to prolong the bread storage time. The research was carried out covering the entire food chain: raw material – producer – consumer.

After summarizing theoretical and experimental data found in literature, **the aim of the research work** was set as follows – to study the changes of

physically – chemical and biological features of rye, wheat and hull-less barley grain during the biological activation process and application of such grains in wheat bread production technology.

The following **objectives** are advanced to achieve the set aim:

1. to determine experimentally the optimal parameters for grain activation – temperature, relative air humidity, and activation time;
2. to investigate the qualitative changes of grain during the biological activation;
3. to determine the optimum additive of grain and to assess the changes of wheat dough quality after grain addition;
4. to develop the technological methods for wheat bread production using activated wheat, rye and hull-less barley grain additive;
5. to analyse physically–chemical, and sensory properties, and texture changes of bread with activated grain additive;
6. to determine the optimum storage conditions for wheat bread with biologically activated wheat grain additive:
 - to evaluate the changes of bread quality in various packaging materials and environment during the storage;
 - to study the changes of texture and mechanical properties of bread during the storage in various packaging materials and conditions.

Novelty of the research – new wheat bread with biologically activated rye, wheat and hull-less barley grain additive is developed, and product quality is evaluated. The application for the patent has been submitted to the Board of Patents of the Republic of Latvia, and it was accepted for the issue of a licence (the number of a licence SPK⁷ : A23D13 / 02, Bread with biologically refined grain addition).

The scientific significance of the research – the changes of grain physically – chemical composition during the biological activation time were studied; the optimum amount of grain additive to wheat dough was determined; rheological properties and quality of wheat dough with biologically activated wheat, rye and hull-less barley grain additive were evaluated; physically – chemical and sensory properties of new bread samples were studied; as well as structural–mechanical properties of bread and other quality factors during the bread storage in various packaging materials and conditions were ascertained. The developed mathematical model demonstrates that the change of the falling number value during the grain activation depends on the grain activation time.

The economic significance of the research – additionally, a new bread making technology was developed. Wheat bread samples with biologically activated wheat and hull-less barley grain additive have higher nutritive value and excellent sensory properties compared to wheat bread without biologically activated grain additive.

APPROBATION OF THE RESEARCH WORK

The results have been presented at nine international scientific conferences, seminars and symposiums in Latvia (Latvia University of Agriculture), Belgium, Russia, Spain, the USA, England, Poland, and Lithuania (see the list on pages 5 and 6).

The research results are reflected in **scientific publications** in Latvian, English and Russian, all of them are published in the editions approved by Latvia Council of Science. The lists of publications are presented on pages 6 and 7.

Participation in exhibitions: the research results have been presented at several exhibitions (see page 7).

MATERIALS AND METHODS

The research work has been elaborated at several institutions in Latvia between 2003 and 2005:

- Latvia University of Agriculture:
 - Research laboratory of Agronomy Analysis (determination of fat, total protein content, total sugar content, and dietary fibre content).
 - Seed Analysing laboratory (determination of gluten, falling number, starch, moisture, Zeleny index in grains during the activation time).
 - The Laboratories of the Department of Food Technology: Laboratory of Sensory Analysis (bread sensory evaluation); Packaging Material Properties Research Laboratory (packaging of wheat bread with activated wheat grain additive, changes in the colour of bread crumb, bread crumb and bread crust hardness during the bread storage); Laboratory of Food Product Analysis (determination of the changes of moisture, acidity, and porosity in bread samples during the storage).
- The Experimental Bakery of the limited liability company „JLM grupa” production unit in Jelgava (grain activation in a conditioning chamber; test baking).
- The bakery of the limited liability company „Zelta vārpa 5” (determination of bread porosity; baking of experimental bread samples).
- The joint-stock company „Rīgas Dzirnavnīeks” (pharinographical analysis of wheat dough with activated grain additive).
- The Institute of Biology of the University of Latvia (determination of vitamin B₁, B₂, C, E, niacin, and amino acid content).
- The Institute of Microbiology and Virology of the University of Latvia (determination of glycosamin).

The following materials have been used for the purpose of the research work: wheat flour of the first rate produced by the limited liability company

„Dobeles Dzirnāvnieks” (gluten content – 28%, moisture – 13.8%, ash – 0.88%); wheat grains (variety ‘Kontrast’), rye (variety ‘Voshod’) harvested in 2003 by the limited liability company „Zelta vārpa 5” and hull-less barley cultivated at Priekuļi Plant Breeding Station in Latvia and harvested in 2004; drinking water for grain rinsing and steeping (in compliance with the Regulations No 235 of the Cabinet of the Republic of Latvia „Compulsory Requirements for Harmlessness of Drinking Water”, 2003); yeast (UTN 40003040518-101-2002); sugar (in compliance with the law of the Republic of Latvia „Law on Sugar”); salt (LV US 01310005); curd whey from the limited liability company „Zemgales piens”.

Methods for determination of the quality of raw materials, semi-finished products and ready products

- **Grain moisture** was determined under the standard method *LVS 272*.
- **The amount of admixtures** was determined under the standard method *LVS 271*.
- **The content of gluten** was determined under the standard Perten method *LVS 275* and by means of the equipment „Glutomatic”.
- Changes of the **falling number** in grains were determined under the standard Harberg–Perten method *LVS – 274*.
- **Fat content** was determined under the standard method *ISO 6492* by means of the equipment „Büchi Extraction System B-811”.
- **Dietary fibre content** was determined under the standard method *ISO 5498* by means of the equipment „Fibertec system 1010 Heat Extractor”.
- **Total protein content** was determined under the standard method *AACC 46–20* by means of a Kjeldal method.
- **Determination of grain germination activity**. Germination activities characterise the growing and development of grain. Grain germinates within five days at temperature $+(16–17)^{\circ}\text{C}$.
- **Total sugar content** was determined under the standard Bertran method. The combustion of keton group boiling solution with Felling reagent forms the base of this method.
- **Mass of 1000 grains**. This is the absolute 1000 grain mass in grams recalculated on dry matter.
- **Grain glassiness** characterises the consistence of grain endosperm. Glassines were examined by means of a diaphanoscope.
- **The content of amino acids** was determined under the chromatographic method by means of the amino acid analyser „Mikrotechna AAA 831”.
- **Vitamin C content** was determined under a Tillman’s method. The method is based on the extraction of L-ascorbic acid from the analysing material by

means of the oxalic acid and conversion of 2,6-dichlorophenolindophenol into dehydroascorbic acid.

- **Niacin content** was determined under the method of Stepanova by means of a photoelectrocolorimeter.
- **Vitamin B₁** content was determined by means of the fluorimetre „Specol 11” in compliance with a Jansen method under the modification of Jelesejevs.
- **Vitamin B₂** was determined by means of the fluorimetre „Specol 11” under the method of Povolocka and Skorobogatova.
- The determination of **the entity of vitamin E** is based on the ability of tocopherol to oxidise. Vitamin E was oxidized with FeCl₃, while iron was oxidized with α, α^1 – dipiridil.
- **Glycosamin content** was determined by means of the amino acid analyser „Mikrotechna AAA 831”. A new determination method has been developed: N-acetylglucosamin under the ration of 1 : 1 was added to grain extract, glycosamin was assumed to be the peak between amino acid tyrosine and histidine.
- **Grain biological activation** was performed in the climatic chamber at temperature +25; +30; +35 °C and constant relative air humidity – 80%.
- **Mass of dough and bread samples** was determined by weighing on the electronic scale ACCULAB V – 1200.
- **Rheological properties of dough** were studied by means of the pharinograph „Brabender” under the standard method *ICC – 115/1*.
- **pH** changes were determined under the standard method *AACC 02 – 52*.
- **Moisture content** in bread samples was determined under the standard method *LVS 6496*.
- **Colour changes** of bread crumb in the colour system CIE L*a*b* were determined by means of „ColorTec–PCM” equipment.
- **Bread porosity** was determined by means of Zuravljev equipment.
- **Bread baking loss** – form the highest technological losses in bread baking process – the decrease of bread mass during the bread cooling time was calculated.
- **Bread dry off** – is the loss of bread mass during the storage.
- **Sensory properties.** The sensory data were analysed using the analysis of variance (ANOVA) and a Tukey’s test: the main sensory properties (colour, flavour, texture, porosity) were evaluated by a line scale under the standard method *ISO 4121:1987*; a nine point hedonic scale was used to find out the degree of liking under the standard method *ISO 4121:1987*.
- Changes of **bread crumb and bread crust hardness** during the bread storage were determined by means of a force – deformation test with „UTM” (Ultra Test Mecmesin – BFG 1000 N) equipment.

The technological scheme for bread sample preparation is presented in Fig. 1.

The packaging and storage possibilities for wheat bread with activated wheat grain additive are reflected in Fig. 2.

Mathematical data processing

- Microsoft Excel software was used for the purpose of the research to calculate mean arithmetical values and standard deviations of the mathematical data used in the research.
- Statistical methods, namely, two factor variance analysis and a Tukey's test were applied for the analysis of sensory data.
- A mathematical model has been developed on the basis of experimental data. The changes of the falling number value during the grain activation time in activated wheat grain were used for calculations. SOLVER software and t – test were used for the development of a mathematical model.
- Variance analysis, homogeneity and Sheffe tests were used for the evaluation of changes of bread crust hardness in wheat bread with activated wheat grain additive during the storage time.

RESULTS AND DISCUSSION

Grain activation

- **Grain activation** was carried out in the climatic chamber at temperature $+(25-35)^{\circ}\text{C}$, and relative air humidity content of 80%; activation time – up to 36 hours.
- Prior to the experiments **the value of grain falling number** was 493 s for hull-less barley, 460 s for wheat, and 173 s for rye grain. The falling number for all kinds of grain (see Fig. 3) was 62 s after the grain activation for 36 hours. Such changes can be explained by biochemical reactions occurred in grains during activation, as a high activity of α -amylase and β -amylase enzymes was observed. Consequently starch is split, as starch is a very important energy source for grain growing and development.
- **Qualitative and quantitative changes of gluten.** Inactivated wheat grains and grains activated for 12, 24 and 36 hours were tested. The decrease of dry gluten amount (for wheat grains activated up to 24 hours) from 25.40 to 3.80%, gluten index from 96.14 to 38.00%, and gluten hydration properties from 213.58 to 171.43% were detected compared to the test samples. Gluten was not detected in wheat grain activated for 36 hours. Gluten was found neither in activated nor unactivated rye and hull-less barley grains. Mainly it could be explained due to the existing higher amount of *gliadin*, as well as diminished

correlation between *disulphide bonds* and *-SH-* groups in activated rye grains and enzyme paphain activity in hull-less barley grains.

- **Changes of fat content during the grain activation.** The changes of fat content are not relevant during the biological activation time. The activity of 3-acetylglucerocephalase and lipoxigenase enzymes increased during the grain activation time up to 24 hours in comparison with the inactivated grain samples.

- **Changes of total protein content.** Proteins were split by proteolytic enzymes as a result the total protein content decreased during the grain activation time. The total protein content decreased intensively in rye grain from 9.72 to 1.03%, in wheat grain – from 13.18 to 12.89%, and in hull-less barley grain – from 17.35 to 12.16% during the grain activation time up to 24 hours (Fig. 4).

- **Changes of dietary fibre content in grain during the activation time.** Dietary fibre content has increased from 2.59 to 2.83% in rye grains, from 1.64 to 2.18% in hull-less barley grains, and from 3.22 to 3.34% in wheat grain (see Fig. 5) during the activation up to 24 hours. Such changes can be explained by the activity of amylolytic enzymes and splitting of cellulose and maltose.

- **Changes of total sugar content.** The highest total sugar content (6.03%) was determined in inactivated rye grain; it is 2.4 times higher in comparison with hull-less barley grain and 1.8 times higher if compared with wheat grain. The amount of total sugar content has increased 1.3 times in hull-less barley grain, 1.2 times in rye grain and 2.0 times in wheat grain during the grain activation time up to 24 hours (Fig. 6).

- **Changes of vitamin content in grain during the activation time.** The amount of vitamin B_1 in the activation process of wheat, rye and hull-less barley grains considerably decreased (see Fig. 7). The decrease in vitamin B_1 quantity could be explained by the possible metabolism and biochemical reactions in the activation time and the availability of vitamin B_1 in enzyme pyruvate decarboxylase which participates in the growth and splitting reactions of carbohydrates occurring in a grain. Vitamin B_1 content has decreased by 32.10% in wheat grain, 57.78% in rye, and 17.39% in hull-less barley grain during the activation up to 24 hours.

Whereas, contrary results were observed for the content of vitamin B_2 (see Fig. 8). The amount of vitamin B_2 has increased by 45.5% in rye grain, 54.5% in wheat grain, and 88.9% in hull-less barley grain during the activation time up to 24 hours. The increase of vitamin content in hull-less barley and wheat grain were very similar. However inactivated rye grain is richer in the content of vitamin B_2 comparing with inactivated wheat and hull-less barley

grain, therefore the increase of the vitamin amount is more intense, and it can be explained due to the short rest period and intense process of metabolism occurring in rye grain.

Inactivated wheat grain is richer in the content of niacin by 70.10% compared to rye grain and by 57.23% if compared to hull-less barley grain. The research proved that the increase of vitamin content was more intense in hull-less barley and rye grains. The content of niacin has increased 1.3 times in wheat grain, 2.6 times in rye grain and 2.1 times in hull-less barley grain comparing with inactivated grain samples activated up to 24 hours.

Vitamin C was not found in inactivated grain samples. Vitamin C was synthesized during the activation process by means of biochemical reactions. It was synthesized to 71.0 mg kg⁻¹ in wheat grain, to 69.4 mg kg⁻¹ in rye grain, and to 26.9 mg kg⁻¹ in hull-less barley grain during the activation up to 24 hours.

The increase of the amount of vitamin E in wheat and rye grain during the activation process has been similar. Vitamin E content has grown 6.5 times in wheat grain, and 6.2 times in rye grain. The increase of the amount of vitamin E in hull-less barley grain during the activation time was not so intense, as it has increased only 1.7 times comparing with inactivated grain samples.

- **Changes in the content of total irreplaceable amino acids in grains during the activation time.** A higher content of irreplaceable amino acids was found in inactivated hull-less barley grain (see Fig. 9). Total content of amino acids has decreased by 18.8% in hull-less barley grain, 17.4% in wheat grain, and 47.4% in rye grain during the grain activation time up to 24 hours. The intense application of amino acids in grain metabolism explains the decline.

- **Changes in the content of glycosamin.** The highest content of glycosamin was obtained in inactivated wheat (0.023 g 100g⁻¹) and rye (0.024 g 100g⁻¹) grain (see Fig. 10). Inactivated hull-less barley grains contain only 0.010 g 100g⁻¹ of the mentioned compound.

More intense increase of glycosamin was observed in hull-less barley (4.7 times) grain during the activation up to 24 hours, while in rye and wheat grain the amount of glycosamin has increased only 1.7 times. Glycosamin as a biologically active compound forms a part of glycopeptides and thus acts as a mediator of the human immunity system. Therefore the biological value of bread may be increased if grain containing glycosamin is added to dough.

Evaluation of wheat dough quality

- **Evaluation of rheological properties of wheat dough.** The research focuses on the analysis of the changes of dough rheological properties if wheat, rye, and hull-less barley grains are added to dough and activated up to 24 and 36 hours. Higher dough quality parameters were obtained for wheat dough with

wheat grain additive (25% of flour mass) activated up to 24 hours. The dough quality number with addition of wheat grain germinated for 24 hours increased to 200 FU compared with the test dough sample. It was expected that bread with the mentioned addition of grain would be of good quality. The dough stability was not significant compared to the test dough sample. The consistency of dough with water absorption value of about 43.3% correspond to 392 FU, the dough development time being 2.7 minutes (see Fig. 11).

Rye grain activated up to 24 hours and added to wheat dough was 35% of total flour amount. The dough quality number with a 24-hour activated rye grain additive decreased by 76.53% compared with the test dough sample. The value of dough stability was low, similar to the dough with wheat grain additive activated for 36 hours. Though the value of dough flowability time was satisfactory – 121 FU, the dough development time was by 1.3 min smaller than that of the test dough sample and the dough sample with a 24-hour activated wheat grain additive. Differences between rheological properties of experimental dough samples and test sample did not influence the bread quality significantly.

The dough quality number with hull-less barley additive activated (45% of total flour amount) for 24 hours was by 3.8 times lower compared with the test dough sample (it was a relevant change). The dough stability was not similar to the dough stability value for the test dough sample, where it equalled to 3.3 minutes. However the quality of bread with this grain additive would be good. The value of wheat dough with activated hull-less barley grain additive development time is similar to the dough development time for the sample with a 24 hour activated rye grain additive.

As indicated in the literature, the quality of gluten changes due to a partial albumen proteolysis. The decrease of disulphide bond and the increase of *-SH*-group have been observed. Mainly hidden disulphide bonds (albumins and globulins) have cleaved. Disulphide bonds of grains germinated for about one day split only by 19%, but hidden disulphide bonds remained without a change, thus demonstrating insignificant changes in the quality of gluten. Disulphide bonds of grain germinated for more than 24 hours decreased by 64%, while hidden disulphide bonds – by 58%, thus proving a significant desegregation of gluten.

• **Characterisation of dough physically – chemical parameters.** The lowest wheat dough acidity was determined for wheat dough sample with activated wheat grain additive, as the amount of grain additive here is smaller, only 25% of total flour mass.

A higher content of wheat dough moisture was determined for the wheat dough sample with activated rye grain additive – 35% of total flour mass; it can be explained due to high water absorption during the grain activation time.

Evaluation of bread quality

The best wheat bread samples were obtained with 25% activated wheat, 35% activated rye and 45% activated hull-less barley grain additives (see Fig. 12).

- **Characterisation of bread crumb colour intensity.** The most intense bread crumb colour (L^*) was obtained for the test bread sample (74.58) compared to the wheat bread samples with activated rye, wheat and hull-less barley grain additive. In the research it was ascertained that bread crumb colour had become darker if activated grains were added to wheat dough.

- **Characterisation of bread porosity, pH and moisture content.** The highest bread *porosity* was obtained for wheat bread sample with activated wheat grain additive (grain additive amounting to 25% of total mass of flour); it was higher by 8.2% comparing with the test bread sample porosity. It might be explained by intensive fermentation processes occurring in dough with activated wheat grain additive. The content of dry matter in such dough was lower, therefore the yeast activity increased. Bread porosity was lower for bread samples with activated rye and hull-less barley grain additive compared to the porosity of a bread sample without grain additive, as grain additive (35% rye grain and 45% hull-less barley grain) to wheat dough was high, the content of dry matter increased and fermentation processes in wheat dough decreased.

pH value was similar for all bread samples with activated grain additive (from pH 5.3 to 5.8).

The highest content of bread *moisture* was obtained in wheat bread sample with activated rye grain additive, because there was high water absorption during the grain activation up to 24 hours when the content of moisture in rye grain increased from 13.3% to 34.1%.

- **Content of vitamins in bread samples.** A higher vitamin content was determined in wheat bread with biologically activated *wheat* grain additive: the content of niacin increased 3.1 times, vitamin E – 2.7 times, vitamin B₂ – 8.7 times and vitamin B₁ – 4.1 times comparing with the test bread sample (see Fig. 13). Vitamin C was not detected in the test bread sample, but the content of vitamin C in wheat bread with activated wheat grain additive amounted to 42.8 mg kg⁻¹, and it can be explained by the synthesis of vitamin C during the grain biological activation.

In bread samples with activated *rye* and *hull-less barley* grain additive the content of niacin was 2.1 and 2.3 times smaller respectively, and the content of vitamin B₂ – 1.6 and 1.3 times (see Fig. 13), because the content of the mentioned vitamin was not so high in inactivated grain.

In the research it was determined, that the content of vitamin B₁ and E was higher in bread samples with activated rye and hull-less barley grain additive 1.6 and 1.5 times respectively comparing with the test bread sample. Vitamin C was not detected in the test bread sample, but its amount was higher in bread with activated rye and hull-less barley grain additive 11.2 and 6.3 mg kg⁻¹ respectively.

- **Total sugar, dietary fibre, total protein and fat content in bread samples.** Bread samples with activated hull-less barley grain additive have the highest total *protein* content – 24.6% comparing with the test bread sample. It might be explained by high total albumen content in inactivated hull-less barley grain – 17.35%, and a higher amount of additive to wheat dough – 45% of total flour mass. The content of total protein in wheat bread sample with activated rye grain additive is 20.9%, while with hull-less barley grain additive – 14.3% of dry matter.

Total sugar amount in bread sample with activated wheat grain additive comprising 18.7% was higher than in the bread sample with activated rye grain – 13.1% and with hull-less barley grain – 12.0%. The amount of total sugar is 1.1 times higher in wheat bread with activated wheat grain additive, 1.4 times higher in bread with activated rye grain additive, and 1.5 times higher in bread with activated hull-less barley grain comparing with the test bread sample.

The content of *dietary fibre* in experimental bread samples was: 0.70% in wheat bread with activated wheat and hull-less barley grain, 0.90% in bread with activated rye grain, while the content of dietary fibre is 0.50% in the test bread sample. Such results might be explained by the increase of dietary fibre content during the grain activation; as a result the bread with such grain additive had a higher content of dietary fibre.

Fat content in bread sample with activated rye grain additive amounted to 0.46%, in the bread sample with activated hull-less barley it amounted to 0.43%, in the bread sample with activated wheat grain additive it amounted to 0.30%, but in the test bread sample it amounted to 0.26%.

- **Changes in the content of irreplaceable amino acids.** In accordance with the experimental results the highest content of irreplaceable amino acids (leucine – 0.65 g 100g⁻¹, arginine – 0.39 g 100g⁻¹, threonine – 0.27 g 100g⁻¹, isoleucine – 0.21 g 100g⁻¹ and histidine – 0.31 g 100g⁻¹) was determined in the wheat bread sample with activated hull-less barley grain additive, since grain additive to wheat dough had been very high, yet the content of amino acids in grain activated up to 24 hours had been higher (Fig. 14).

- **Content of glycosamin in bread samples.** The experiments proved that the amount of glycosamin significantly differed in wheat bread with activated wheat grain and other bread samples: it was by 40.45% lower than in the test

bread sample and by 53.51% lower than in the bread sample with activated rye grain additive (see Fig. 15). The content of glycosamin in inactivated grain amounts to 0.023 g 100g⁻¹ in wheat grain, 0.024 g 100g⁻¹ in rye grain and 0.010 g 100g⁻¹ in hull-less barley grain. The amount of glycosamin during the activation time has increased to 0.038 g 100g⁻¹ in wheat grain, to 0.040 g 100g⁻¹ in rye grain, and to 0.047 g 100g⁻¹ in hull-less barley grain.

- **Value of bread baking off and dry loss.** The value of bread baking loss has decreased approximately three times in the bread samples with activated rye and hull-less barley grain additive, while the value of bread baking loss has increased by 0.2% in the bread sample with activated wheat grain additive comparing with the test bread sample (see Fig. 16).

According to the experimental results, the highest value of bread dry loss is acquired for the bread sample with activated wheat grain additive, where the value has increased from 2.4% to 8.3%, but for the bread sample with activated rye grain additive it has only increased from 2.4 to 3.2%; yet an opposite result was obtained for the bread sample with activated hull-less barley grain additive, where the value of dry loss decreased from 2.4 to 2.1% comparing with the test bread sample.

Sensory evaluation of bread

The results of hedonic rating show that the panellists have preferred the wheat bread with biologically activated wheat and hull-less barley grain to the other bread samples (see Fig. 17). The degree of liking is 7.1 for wheat bread with biologically activated grain added, 7.3 for wheat bread with biologically – activated hull-less barley grain added, and 4.9 for control bread sample.

The evaluation of sensory properties demonstrates that the use of biologically activated wheat, rye and hull-less barley grain in making of wheat bread does not influence the flavour and texture, but it influences the colour of bread crumb and porosity.

Tukey's test results indicate that the test sample has more intense white colour in the bread crumb of samples with activated grain additive. It could be explained by biologically activated grain additive in wheat dough samples (see Fig. 18).

More intense porosity of bread samples with activated grain additive could be explained due to a high activity of α -amylase and β -amylase, which promotes the process of starch hydrolyses. As the result the dough fermentation process is more intense and consequently the bread porosity is well developed, which means that all the dough fermentation processes have proceeded correctly.

Quality changes of wheat bread with activated wheat grain additive during the storage time

- **Moisture changes.** The minimum moisture content of bread at the end of storage has to be not less than 38% (in compliance with the regulations of the limited liability company „JLM grupa” in the bakery of Jelgava). The moisture content of wheat bread with activated wheat bread additive was 42%, but of control wheat bread sample – 40%.

Experimentally it has been ascertained that for bread samples with the activated wheat grain addition, and wrapped in a PVC film, the moisture decreases from 42 to 38% within the storage time of seven days, for bread packed in perforated PP bags – within 24 days, in unperforated PP bags – 16 days, in PP bags (air ambience + C₂H₅OH) – after 26 days, in bags with barrier properties at the modified gas atmosphere (MAP) (30% CO₂+70%N₂) – after 19 days, in MAP (100% CO₂) – seven days, in MAP (30% CO₂+70% N₂ + C₂H₅OH) – 32 days.

Therefore PP bags (air + C₂H₅OH ambience), and MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH ambience) have been suggested as the most suitable packaging method for bread with activated grain addition.

- **Porosity changes.** For bread samples with activated grain additive and wrapped in a PVC film the porosity decreased from 73 to 67% within the storage time of nine days, in perforated PP bags – 16 days, in unperforated PP bags – eight days, in PP bags (air ambience + C₂H₅OH) – in 24 days, in bags with barrier properties in the modified atmosphere packaging (MAP) (30% CO₂+70%N₂) – after 14 days, in MAP (30%CO₂ + 70%N₂ + C₂H₅OH) – 35 days. As the result PP bags (air + C₂H₅OH ambience), MAP (30% CO₂+70% N₂+ C₂H₅OH ambience) have been suggested as the most suitable packaging method for bread with activated grain additive.

- **pH changes.** As experimental results proved, the most suitable packaging method for bread with activated wheat grain additive is perforated PP bags (storage time – 9 days) and PP bags (air + C₂H₅OH) (storage time – 24 days), because no important changes in bread pH during a two weeks storage time were observed. During this storage time bread still had a good quality.

- **Changes of bread crumb hardness.** Bread with activated wheat grain additive became hard slower if packed in PP bags containing air and ethyl alcohol vapour and in protective gas atmosphere and ethyl alcohol vapour (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH). Bread storage time in the mentioned packaging materials was up to 21 days, the following increase of bread crumb hardness was observed: in PP bags with ethyl alcohol vapour – 6.7 times, in MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) – 9.2 times; during a nine days storage

the hardness of bread crumb packed in PP bags increased 5.4 times compared with the initial bread crumb hardness value (see Fig. 19).

The research results demonstrated that it was possible to slow down the process of bread crumb hardening if activated wheat grain had been added to wheat dough: consequently bread packed into PP bags containing ethyl alcohol vapour became hard after a nine days storage, bread packed into MAP (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) became hard after 17 days, and bread packed into a PVC film became hard after four days. The processes are possible due to the slow moisture migration occurring in bread with activated wheat grain additive; therefore bread would stay fresh for a longer time. Wheat grain additive ensures the possibility to increase the content of bread total protein, total sugar and dietary fibre; as a result retrogradation process started is not so intense.

The use of a PVC film for bread packaging is not advisable, as bread hardness increased six times after six days storage.

- **Absolute colour changes of bread crumb.** The absolute colour characterises differences of colour. The biggest difference in the absolute colour for wheat bread was determined for the samples with activated grain additive and for test bread samples packed into perforated PP bags; it can be explained due to the access of oxygen to bread samples.

- **Changes of bread crust hardness during the storage.** The research was aimed at determination of interconnection between the storage time of wheat bread with activated wheat grain additive, packaging materials and packaging method.

The research established that the changes of bread quality (the maximum hardness of bread crust – Newton's was determined) had been essentially influenced by packaging material and ambience during the storage; since the quality differences between wheat bread with activated grain additive and the test bread sample had occurred.

The hardness of bread crust was determined for bread samples packed into extensively used packaging materials – a PVC film, perforated and unperforated PP bags, and alternative packaging methods prolonging the bread storage time – such as PP bags with air and ethyl alcohol ambience and protective gas atmosphere with ethyl alcohol vapour (30% CO₂ + 70% N₂ + C₂H₅OH) (see Fig. 20).

With the probability of 95%, detected by means of the variance analysis, it may be asserted that the packaging materials influence the increase of the hardness of bread crust (the changes of maximal bread crust hardness – Newton's were used as the dependent variable). It was ascertained that the moisture migration from bread crumb to bread crust during the storage, and a longer storage time, when the moisture migration is more intense explain the

obtained results. Packaging materials prevent the moisture migration; as a result bread quality is preserved for a longer time.

The differences during the storage were not determined between the quality changes of bread with activated wheat grain additive and the test bread samples ($P = 0.70 > \alpha = 0.05$), as the content of moisture in bread samples was very similar, 42 and 40 % respectively.

The research included the determination of the mutuality of packaging materials. The analysis was done by means of a *Scheffe* test (the changes of maximum bread crust hardness – Newton's were used as a dependent variable). The changes of bread crust packed into a PVC film and perforated PP bags differed from the changes of hardness of bread crust packed into PP bags (air + C_2H_5OH) and protective gas atmosphere MAP (30% CO_2 + 70% N_2 + C_2H_5OH) during the storage. The obtained results lead to the conclusion that a PVC film and perforated PP bags have a negative influence on the changes of bread crust hardness during the storage (high moisture migration). Consequently bread quality is reduced, since the moisture permeability of packaging materials is very high.

Wheat bread with activated wheat grain additive and test bread samples became hard quicker than those packed in a PVC film.

Linear interconnection between the changes of bread crumb hardness in several packaging materials was not found.

Development of the mathematical model

The mathematical model was developed on the basis of experimental data: changes of the value of wheat falling number during the grain activation. Wheat grain activation time was up to 36 hours.

The purpose for the development of the mathematical model was to describe the intensive biochemical processes occurring during the grain activation time, and the change of active components (carbohydrates, protein and lipids); as these active components are important energy sources for grain development. If grain activation time exceeds 36 hours, the active components resume the process of synthesis to ensure the growth of a grain. Therefore we can suppose that the speed of active component splitting is proportional to the amount of active components.

It is not possible to determine the speed of biological processes, dependent on grain variety and activation parameters, but it can be assumed that the speed of such processes is a constant “ V ” (as there is no information available on the kinds of processes occurring in a grain). The increase of grain falling number value is possible due to the synthesis of active components.

As a result a differential equation is obtained (1):

$$\frac{dK}{dt} + \frac{K}{\tau} = V \quad (1)$$

where: $\frac{dK}{dt}$ – speed of changes of the falling number value in the activation time, s;
 K – falling number, s;
 τ – time constant of process;
 V – speed of active component synthesis, calculated through the speed changes of the falling number.

Initial term of the differential equation is:

$$K|_{t=0} = K_0, \quad (2)$$

where: K_0 – an initial value of the falling number, s.

The differential equation is the linear preferential ordinal, non-homogeneous differential equation with constant coefficients, which may be solved by means of an *Euler* method. The solution of problems (1 and 2) is shown in the formula 3:

$$K(t) = (K_0 - \tau \cdot V) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \tau \cdot V \quad (3)$$

where: $K(t)$ – falling number dependence on the activation time;
 t – time, h;
 e – base of a natural logarithm.

To determine the coefficients V and τ in equation 3, the least square method of equation 3 is applied to the equation developed further. Using the experimental data the sum is completed (4.):

$$S = \sum_i [K_{eksp}(t_i) - K_t(t_i)]^2 = \left[K_{eksp}(t_i) - ((K_0 - \tau \cdot V) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \tau \cdot V) \right]^2 \quad (4.)$$

where: S – sum of squares;
 $K_{eksp}(t)_i$ – an experimental value of the falling number depending on the activation time;
 $K_t(t)_i$ – a theoretical value of the falling number depending on the activation time.

A software SOLVER was used for the sum (4.) minimising.

The coefficients V (7.13) and τ (7.63) were determined by means of experimentally ascertained data and sum 4. As a result the value changes of theoretical falling number in wheat grain during the activation time were calculated, and a theoretical curve was obtained (see Fig. 21.).

CONCLUSIONS

1. The research proved that the optimal grain biological activation parameters are: $\varphi = 80\%$, $t = 34 \pm 1^\circ\text{C}$, $\tau = 24$ h.
2. Intense biochemical processes occur during the grain activation time, as a result grain biological value increases – the content of vitamins B₂, E and niacin, total sugar, dietary fibre and glycosamin increase; vitamin C is synthesized, and the content of irreplaceable amino acids is increased during the process of protein hydrolysis.
3. The optimum activated grain additive to wheat dough is the following: 25% wheat grain, 35% rye grain, 45% hull-less barley grain of total flour amount.
4. Activated grain additive does not have a relevant influence on rheological properties and quality of wheat dough.
5. The hypothesis proved to be correct, as all bread samples with activated wheat, rye and hull-less barley grain additive had a higher biological value. Bread samples have higher content of vitamin B₂, niacin, E and C, dietary fibre, irreplaceable amino acid, total protein, total sugar, and glycosamin comparing with the test bread sample.
6. The results of a sensory analysing using hedonic rating demonstrated that a higher degree of liking was attributed to the bread samples with activated wheat (7.1) and hull-less barley (7.3) grain additive comparing with test bread sample (4.9).
7. The changes of physical properties of wheat bread sample with activated wheat grain additive were not so intense during the storage time for bread packed in unperforated PP bags with air and ethyl alcohol vapour and protective gas atmosphere with ethyl alcohol vapour.
8. Packaging materials and packaging atmosphere influence bread hardness: bread staling process is more intense if bread is packed in a PVC film and unperforated PP bags.
9. The applied theory proves the development of a mathematical model to ensure the growth of a grain, the active components resume the process of synthesis if the grain activation exceeds 36 hours; such processes developed with a constant speed, as a result the value of the falling number of grain increased.
10. The designed mathematical model is suitable not only for projections of the value of wheat falling number, but also for other grains.