

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MAISTO MOKSLO IR TECHNOLOGIJOS KATEDRA

**Greta Banytė**

**KUKURŪZŲ GRŪDŲ PERDIRBIMO ŠALUTINIAI  
PRODUKTAI KEPINIAMS IR JŲ TECHNOLOGINIŲ BEI  
FUNKCINIŲ SAVYBIŲ ĮVERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
dr. Dalia Čižeikienė

Kaunas, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MAISTO MOKSLO IR TECHNOLOGIJOS KATEDRA

**KUKURŪZŲ GRŪDŲ PERDIRBIMO ŠALUTINIAI  
PRODUKTAI KEPINIAMS IR JŲ TECHNOLOGINIŲ BEI  
FUNKCINIŲ SAVYBIŲ ĮVERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Maisto mokslas ir sauga (kodas 621E40001)

**Vadovas**

dr. Dalia Čižeikienė

2017 – 06 –

**Recenzentas**

vyr. m. d. dr. Daiva Žadeikė

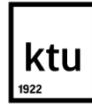
2017 – 06 –

**Projektą atliko**

Greta Banytė

2017 – 06 –

Kaunas, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Greta Banytė

(Studento vardas, pavardė)

Maisto mokslo ir saugos programa, 621E40001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Kukurūzų grūdų perdirbimo šalutiniai produktai kepiniams ir jų technologinių bei funkcinių savybių įvertinimas“

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. birželio \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Gretos Banytės**, baigiamasis projektas tema „Kukurūzų grūdų perdirbimo šalutiniai produktai kepiniams ir jų technologinių bei funkcinių savybių įvertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

## Turinys

Įvadas.....	9
1 Literatūros apžvalga .....	11
1.1 Kukurūzų auginimo bei suvartojimo mastai.....	11
1.2 Kukurūzų sudėtis ir maistinė vertė .....	12
1.2.1 Kukurūzų krakmolas .....	14
1.3 Kukurūzų krakmolo funkcinės savybės.....	15
1.3.1 Krakmolo brinkimas .....	15
1.3.2 Krakmolo kleisterizacija.....	15
1.3.3 Krakmolo retrogradacija.....	16
1.4 Kukurūzų perdirbimo būdai.....	16
1.4.1 Šlapias malimas .....	16
1.5 Antriniai kukurūzų produktai susidarantys kukurūzų kruopų gamybos metu.....	18
1.6 Kukurūzų produktų galimi apdorojimo būdai .....	19
1.6.1 Ekstruzija .....	19
1.6.2 Apdorojimas IR spinduliais .....	20
1.7 Kukurūzų produktų panaudojimas kepiniams .....	21
1.8 Pieno rūgšties bakterijų raugai ir jų svarba kepiniams .....	23
1.8.1 Pieno rūgšties bakterijos.....	23
1.8.2 Raugų įtaka kepiniams .....	24
2 Tyrimų objektai ir metodai.....	25
2.1 Tyrimų objektai.....	25
2.1.1 Šalutiniai kukurūzų produktai .....	25
2.1.2 Bandelės su kukurūzų produktais.....	25
2.1.3 Kukurūzų produktų raugai.....	26
2.1.4 Duonos kepiniai su kukurūzų produktais .....	26
2.2 Tyrimų metodai.....	29
2.2.1 Kukurūzų žaliavos tyrimai.....	29
2.2.2 Raugų tyrimai .....	35
2.2.3 Kepinių tyrimai.....	38
3 Rezultatai ir jų aptarimas.....	39
3.1 Kukurūzų grūdų perdirbimo šalutinių produktų technologinės bei funkcinės savybės.....	39
3.1.1 Apdorojimo būdo įtaka pažeisto krakmolo kiekiui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose .....	39
3.1.2 Apdorojimo būdo įtaka amilozės kiekiui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose..	41

3.1.3	Apdorojimo būdo įtaka krakmolo kleisterizacijos laipsniui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose .....	42
3.1.4	Apdorojimo būdo įtaka vandens sugerties indeksui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose .....	44
3.1.5	Apdorojimo būdo įtaka tirpumo vandenyje indeksui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose .....	45
3.1.6	Apdorojimo būdo įtaka kukurūzų produktų kleisterių klampai.....	46
3.1.7	Apdorojimo būdo įtaka klampai skirtingose kukurūzų produktų frakcijose .....	50
3.1.8	Apdorojimo būdo įtaka peroksidų skaičiui skirtingose kukurūzų žaliavos frakcijose	54
3.1.9	Makro ir mikroelementų pasiskirstymas skirtingose kukurūzų žaliavos frakcijose....	55
3.2	Duonos raugų, ruoštų iš ekstrudotų kukurūzų grūdų šalutinių produktų, fermentiniai aktyvumai ir rūgštingumas .....	58
3.2.1.	Kukurūzų raugų amilazinis aktyvumas .....	59
3.2.2.	Kukurūzų raugų fitazinis aktyvumas.....	59
3.2.3.	Raugų pH ir BTR pokyčiai jų gamybos metu .....	61
3.3	Kukurūzų perdirbimo šalutinių produktų priedų įtaka kepinių kokybei ir juslinėms savybėms .....	62
3.3.1.	Kukurūzų produktų priedų įtaka duonos su raugais kokybei ir juslinėms savybėms.....	62
3.3.2.	Kukurūzų produktų priedų įtaka bandelių kokybei ir juslinėms savybėms.....	65
Išvados .....		74
Bibliografinių nuorodų sąrašas .....		76

Banytė, Greta. Kukurūzų grūdų perdirbimo šalutiniai produktai kepiniams ir jų technologinių bei funkcinių savybių įvertinimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas dr. Dalia Čižeikienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Maisto technologijos

Reikšminiai žodžiai: *kukurūzų grūdai, perdirbimas, šalutiniai produktai, kepiniai, technologinės savybės, funkcinės savybės*

Kaunas, 2017. 84 psl.

## SANTRAUKA

Perdirbant kukurūzų grūdus, susidaro įvairių šalutinių produktų, kurie gali būti naudojami kitų maisto produktų gamyboje, mitybinei vertei pagerinti. Tačiau, būtina įvertinti, ar šalutinių kukurūzų produktų taikymas neturi neigiamos įtakos juslinėms produkto savybėms. Kukurūzų grūdų perdirbimo šalutinius produktus galima pritaikyti kepinių gamyboje – gaminant duoną be glitimo ar kepinius su padidintu skaidulinių medžiagų kiekiu. Šio darbo tikslas įvertinti kukurūzų grūdų perdirbimo šalutinių produktų technologines ir funkcines savybes bei jų panaudojimo galimybes kepiniams.

Šiame darbe atlikti kukurūzų žaliavos tyrimai, kurių metu nustatyta, jog produkto savybėms turi įtakos kukurūzų apdorojimo būdas. Ekstruduotoje kukurūzų žaliavoje nustatytas didžiausias krakmolo kiekis (44,39-50,79 %), didžiausias amilozės kiekis (9,65-13,25 %), didžiausias krakmolo kleisterizacijos laipsnis (51,15-73,65 %), didžiausias vandens sugerties indeksas (22,45-26,42 %), didžiausias tirpumo vandenyje indeksas (0,68-0,76 %). Pastebėta, jog didžiausiu gelių klampumu pasižymėjo neapdorota kukurūzų žaliava, o mažiausiu gelių klampumu pasižymėjo ekstruduota kukurūzų žaliava. Nustatyta, jog didžiausi peroksidų skaičiaus pokyčiai laikymo metu pastebėti ekstruduotų kukurūzų žaliavoje – šviežiuose kukurūzuose užfiksuotas peroksidų skaičius – 1,25 mekv/kg, o laikymo metu jis padidėjo iki 5,70 mekv/kg. Tačiau laikymo metu beveik nepakito IR spinduliais apdorotų kukurūzų žaliavos peroksidų skaičius (nuo 1,55 mekv/kg iki 1,57 mekv/kg). Tyrimų rezultatai patvirtino, kad elementų pasiskirstymas kukurūzų produktuose priklauso nuo jų frakcijos. Didžiausi Mg, Ca ir Zn kiekiai nustatyti IV-oje frakcijoje. Mn, Cd ir Pb kukurūzų mėginių frakcijose neaptikta. Didžiausiu bendruoju jusliniu priimtinumu pasižymėjo bandelės, keptos naudojant 20 % (nuo miltų masės) ekstruduotų kukurūzų produktų, o priimtinausi vartotojams buvo duonos kepiniai, ruošti su 20 % ekstruduotų kukurūzų ir *L. sanfranciscensis* MR29 raugu.

Banytė, Greta. By-products of Corn-processing for Baked Goods and Evaluation of their Technological and Functional Characteristics. Master's thesis in Food Science and Safety / supervisor dr. Dalia Čižeikienė; The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, Food Technology

Key words: *corn grains, processing, by-products, baked goods, technological characteristics, functional characteristics*

Kaunas, 2017. 84 p.

## SUMMARY

Corn processing results in various by-products, which could be used in other food products manufacturing to increase nutritious value. However, it is necessary to evaluate whether the application of corn by-products have no negative impact on the sensory properties of the product. Corn by-products could be adapted to the production of baked goods – manufacture gluten-free bread or bakery products with increased fiber content. The aim of this research to evaluate corn processing by-products use possibility to bakery product and their technological and functional properties.

During this research were evaluated different corn material properties and obtained that for corn properties high impact have corn treatment methods. In extruded corns was obtained the highest starch amount (44,39-50,79 %), the highest amylose content (9,65-13,25 %), the highest starch gelatinization degree (51,15-73,65 %), the highest water absorbance index (22,45-26,42 %), the highest solubility in water index (0,68-0,76 %). It was noted, that the highest gels viscosity had unprocessed corn material, the lowest – extruded corns. The highest peroxide value changes during storage obtained in extruded corns: at the beginning of storage peroxide value was – 1,25 mekv/kg, during storage it increased to 5,70 mekv/kg. However, during storage almost remained IR-treated corn material peroxide value (from 1,55 mekv/kg to 1,57 mekv/kg). Research results confirmed, that minerals distribution in corns depends on their fraction. Highest Mg, Ca ir Zn amounts obtained in IV<sup>th</sup> fraction. Mn, Cd and Pb in corn samples were not detected. The highest overall acceptability had buns baked with 20% extruded corn products (by weight of flour) and bread, with 20% extruded corn and *L. sanfranciscensis* MR29 leaven was most acceptable to consumers.

## **Santrumpos**

**AMG** – amilogliukozidazė;

**AV** – aktyvumo vienetai;

**BTR** – bendras titruojamasis rūgštingumas;

**GOPOD** – reagentas (buferis, pH 7,4 – p-hidroksi benzoinė rūgštis ir natrio azidas 0,095 % svorio/tūryje);

**KEV** – krakmolo ekvivalento vertė;

**PF** – praskiedimo faktorius;

**PRB** – pieno rūgšties bakterijos;

**TVI** – tirpumo vandenyje indeksas;

**VSI** – vandens sugerties indeksas.



## Įvadas

Grūdai ir jų produktai, žmonių vartojami kiekvieną dieną, yra geras energijos šaltinis. Nacionalinio maisto ir veterinarijos rizikos vertinimo specialistai rekomenduoja kelis kartus per dieną valgyti grūdinius produktus (rupią duoną, košes ir pan.). Angliavandenių kiekis paros maisto racione turi būti 4 kartus didesnis nei baltymų ar riebalų [1].

Lietuvoje daugiausiai naudojami grūdai – kviečiai bei rugiai, tačiau prieš maždaug 18 metų grūdams pradėtų auginti kukurūzų vartojimas vis didėja. Kukurūzai yra maistingi, juose randami 2 riebaluose tirpūs vitaminai – A ( $\beta$ -karotenai) ir E, taip pat vandenyje tirpūs vitaminai – tiaminas (vitaminas B<sub>1</sub>) ir piridoksinas (vitaminas B<sub>6</sub>), bet nepakankamai kobalamino (vitaminas B<sub>12</sub>) ir askorbo rūgšties (vitaminas C) [2]. Kukurūzų gemale yra beveik 80 % branduolio mineralų, o endosperme – tik mažiau nei 1 % mineralų. Fosforas, kalis ir magnis yra dažniausiai kukurūzuose randami mineralai, jie sudaro maždaug 85 % mineralinių medžiagų, randamų kukurūzuose. Kukurūzuose taip pat randama ir nemažai sieros, kuri yra metionino ir cistino sudedamoji dalis. Cinko randama apie 20  $\mu\text{g/g}$ , iš kurių 30 % randama endosperme. Sunkiųjų metalų kukurūzų branduolyje randama labai nedaug [3, 4]. Kukurūzai taip pat pripažinti puikiu fitochemikalų, tokių kaip tokoferoliai, fitosteroliai ir karotenoidai, šaltiniu. Jie turi antioksidacinių savybių. Kukurūzai yra geras liuteino (karotenoido) šaltinis. Liuteinas padeda užkirsti kelią kataraktai, sumažina tam tikro vėžio (pvz. gaubtinės žarnos) riziką [5].

Perdirbant kukurūzų grūdus, susidaro įvairių šalutinių produktų, kurie gali būti naudojami kitų maisto produktų gamyboje, mitybinei vertei pagerinti. Tačiau, būtina įvertinti, ar šalutinių kukurūzų produktų taikymas neturi neigiamos įtakos technologinėms ir juslinėms produkto savybėms. Naudojant kukurūzų šalutinius produktus, galima gaminti pvz., duoną be glitimo arba kepinus su didesniu skaidulinių medžiagų kiekiu.

Glitimas yra pagrindinis kai kurių grūdų baltymų komponentas ir daro didelę įtaką miltų perdirbimo charakteristikoms duonos pramonėje. Tačiau, glitimas turi būti pašalintas iš žmonių, sergančių celiakija mitybos, nes jo vartojimas sukelia rimtus žarnyno pažeidimus [6]. Kukurūzai yra grūdai, neturintys glitimo, todėl tinkami gaminti maistui, skirtam celiakija sergantiems žmonėms [7]. Gana sėkmingi bandymai atlikti plėtojant kukurūzų žaliavos panaudojimą gaminant duoną su raugu [8].

Vystant sveikų ir maistingų, turinčių daug skaidulų maisto produktų gamybą, susiduriama su problema, kaip išsaugoti juslinę ir funkcinę produktų kokybę, norint įtikti vartotojams. Kukurūzų sėlenose esančios skaidulinės medžiagos žinomos dėl teigiamo poveikio žmonių sveikatai ir mitybai. Singh ir kt. (2012) panaudojo kukurūzų sėlenas, kurios gautos kaip grūdų malimo

šalutiniai produktai, pyragų gamyboje, padidinant skaidulinių medžiagų kiekį produkte. Tyrimai parodė, jog pyragų kietumas ir elastingumas nepakito gamyboje naudojant kukurūzų sėlenas. Miltus pakeitus 20 % kukurūzų sėlenų, pyragai pasižymėjo priimtinais juslinėmis savybėmis – konsistencija, skoniu ir bendru priimtumu. Nenustatyta jokio maisto kokybės, apdorojimo savybių bei priimtumo pablogėjimo pyragų gamyboje naudojant kukurūzų sėlenas. Tyrimai parodė, jog kukurūzų sėlenos gali būti naudojamos pyragų bei kitų keptų maisto produktų gamyboje [9]. Vertinant šalutinių kukurūzų produktų panaudojimo galimybes kepiniams pirmiausia reikia nustatyti šios žaliavos technologines ir funkcines savybes, o taip pat jų įtaką kepinių kokybei ir juslinėms savybėms. Todėl šio darbo tikslas buvo įvertinti kukurūzų grūdų perdirbimo šalutinių produktų technologines bei funkcines savybes bei jų įtaką kepinių kokybei ir juslinėms savybėms. Tikslui pasiekti darbe buvo sprendžiami šie uždaviniai:

1. Nustatyti įvairiais būdais apdorotų šalutinių kukurūzų produktų skirtingų frakcijų technologines bei funkcines savybes (pažeisto krakmolo kiekį, amilozės kiekį, krakmolo kleisterizacijos laipsnį, vandens sugerties indeksą, tirpumo vandenyje indeksą, kukurūzų produktų kleisterių klampą, makro ir mikroelementų kiekį, peroksidų skaičių laikymo metu bei nustatyti klampą ir kleisterizacijos proceso pražią).

2. Išbandyti įvairiais būdais apdorotų šalutinių kukurūzų produktų panaudojimo galimybes kukurūzų raugų gamybai su pieno rūgšties bakterijomis, įvertinant raugų pH ir BTR vertes, amilazinį ir fitazinį aktyvumus.

3. Nustatyti kukurūzų raugų, ruošų iš šalutinių kukurūzų produktų ir atrinktų pieno rūgšties bakterijų, įtaką kepinių kokybei ir juslinėms savybėms.

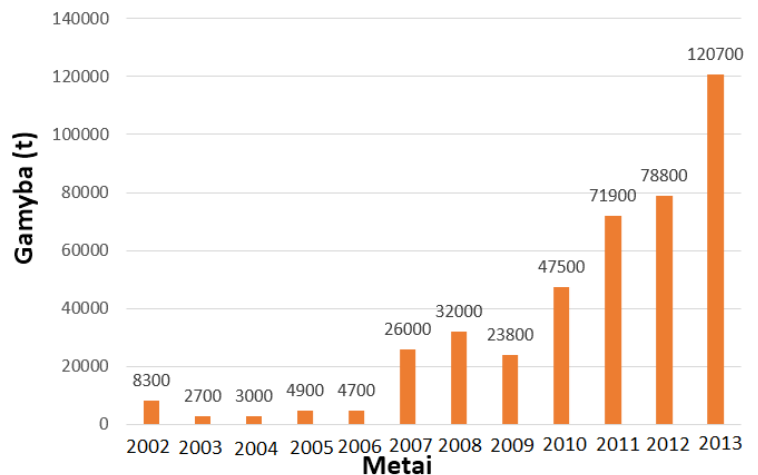
4. Nustatyti kukurūzų produktų priedų įtaką bandelių kokybei ir juslinėms savybėms.

# 1 Literatūros apžvalga

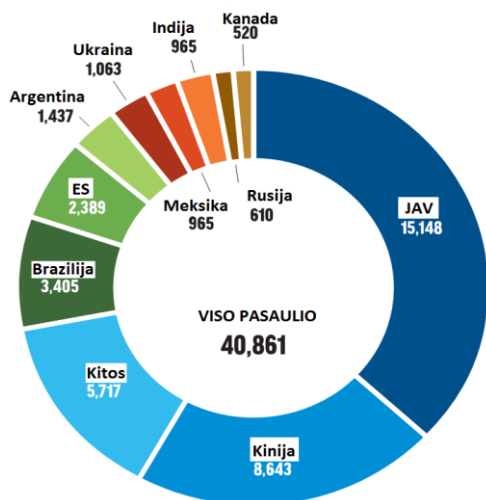
## 1.1 Kukurūzų auginimo bei suvartojimo mastai

Kukurūzai (lot. *Zea mays* L) priskiriami miglinių (lot. *Poaceae*) augalų šeimai. Miglinių augalų šeimai priklauso ir daugelis kitų javų rūšių – kviečiai, ryžiai, miežiai, rugiai, avižos, soros [10]. Kukurūzai yra aukšti vienmečiai augalai su didele pluoštinių šaknų sistema. Kukurūzų grūdai burbulėje išsidėstę vertikaliomis eilėmis, grūdų vienoje burbulėje gali būti nuo 300 iki 1000, o svoris svyruoti 190–300 g / 1000 grūdų. Svoris priklauso nuo genetikos, aplinkos ir auginimo sąlygų. Kukurūzų grūdai sudaro apie 42 % augalo svorio. Dažniausiai kukurūzų grūdai yra balti arba geltoni, nors randama ir juodų, raudonų bei margų [11].

Spėjama, kad kukurūzai pradėti auginti 4500 pr. m. e., Centrinėje Amerikoje [12]. Lietuvoje kukurūzai gyvulių pašarui pradėti auginti tik prieš 55 metus. Iš visų šiandien Lietuvoje auginamų augalų tik rapsai į šalies ūkius atėjo vėliau negu kukurūzai [13]. 1.1.1. paveiksle pateikiamos kukurūzų augalininkystės apimtys Lietuvoje 2002–2013 metais, remiantis FAO duomenimis. Galima teigti, kad kukurūzų auginimo apimtys Lietuvoje stipriai padidėjo – 2002 metais buvo užauginta 8300 tonų, o 2013 metais – 120700 tonų kukurūzų.



1.1.1. pav. Kukurūzų augalininkystės apimtys Lietuvoje 2002 – 2013 metais [14]



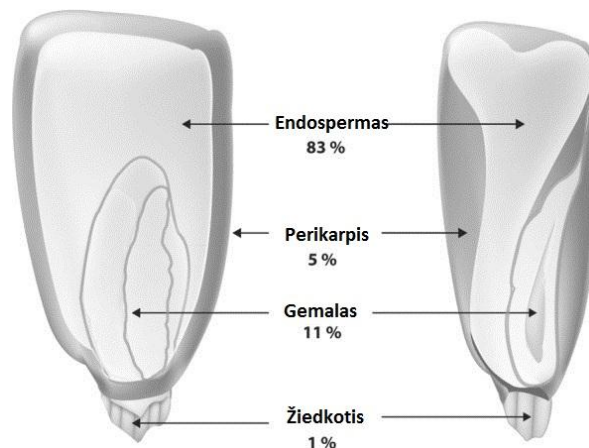
1.1.2 pav. Kukurūzų auginimo apimtys pasaulyje 2016 metais [15]

1.1.2 paveiksle pateikti 2016 metų duomenys apie kukurūzų auginimo apimtį pasaulio rinkoje. Iš viso 2016 metais pasaulyje buvo išauginta 40,861 mln. tonų kukurūzų, didžiausią dalį išaugino JAV (15,148 mln. tonų), antroje vietoje – Kinija (8,643 mln. tonų), trečią vietą užėmė Brazilija (3,405 mln. tonų).

## 1.2 Kukurūzų sudėtis ir maistinė vertė

Kukurūzo branduolys turi keturias pagrindines dalis: žiedkotis, perikarpis, gemalas ir endospermas. Šios dalys ir jų masė (%) pateiktos 1.2.1. paveiksle.

Pagrindinių kukurūzo dalių cheminė sudėtis skiriasi. Pavyzdžiui, perikarpis išsiskiria skaidulų kiekiu (87 %), kurios sudarytos daugiausia iš hemiceliuliozės (67 %), celiuliozės (27 %) ir lignino (0,1 %). Endospermas pasižymi dideliu krakmolo kiekiu (86,6 %), taip pat jame nemažai baltymų (8,6 %). Gemale daugiausia yra riebalų (34,4 %), taip pat palyginti didelis kiekis baltymų (18,5 %) ir mineralinių medžiagų [11].



1.2.1. pav. Pagrindinės kukurūzo branduolio dalys [16]

Smulkesnė informacija apie cheminę kukurūzo branduolio sudėtį (%) pateikta 1.2.1. lentelėje.

1.2.1. lentelė. Cheminė kukurūzo branduolio sudėtis [17]

Cheminis komponentas	Žiedkotis	Perikarpis	Gemalas	Endospermas
<b>Krakmolai</b>	5,3	7,3	8,3	86,6
<b>Baltymai</b>	9,7	3,5	18,5	8,6
<b>Riebalai</b>	3,8	0,98	34,4	0,86
<b>Pelenai</b>	1,7	0,67	10,3	0,31
<b>Cukrūs</b>	1,5	0,34	11,0	0,61

Nors kukurūzuose yra apie 10 % baltymų, pusę baltymų sudaro zeinas, kuriame yra labai mažai lizino ir triptofano, pagrindinių amino rūgščių, kurias žmonės turi gauti iš maisto produktų. Amino rūgščių kiekio kukurūzuose palyginimas su piene esančių amino rūgščių kiekiu (mg/g baltymo) pateiktas 1.2.2. lentelėje.

1.2.2. lentelė. Amino rūgščių kiekio kukurūzuose palyginimas su piene esančių amino rūgščių kiekiu (mg/g baltymo) [18]

Amino rūgštis	Kukurūzai	Karvės pienas
<b>Histidinas</b>	27	27
<b>Izoleucinas</b>	38	47
<b>Leucinas</b>	133	95
<b>Lizinas</b>	27	78
<b>Metioninas + cistinas</b>	41	33
<b>Fenilalaninas + tirozinas</b>	92	102
<b>Treoninas</b>	37	44
<b>Triptofanas</b>	9	14
<b>Valinas</b>	46	64

Kukurūzo branduolyje randami 2 riebaluose tirpūs vitaminai – A ( $\beta$ -karotenas) ir E. Be riebaluose tirpių vitaminų, kukurūzų branduolyje randama ir vandenyje tirpių vitaminų – kukurūzai yra geras B komplekso vitaminų šaltinis, juose daug tiamino (vitaminas B<sub>1</sub>) ir piridoksino (vitaminas B<sub>6</sub>), bet nepakankamai kobalamino (vitaminas B<sub>12</sub>) ir askorbo rūgšties (vitaminas C) [2]. Vitaminų kiekiai kukurūzuose (mg/kg): vitamino E – 25; tiamino – 4,2; riboflavino – 1,25; pantoteno rūgšties – 6,5; biotino – 90; folio rūgšties – 426; cholino – 500; niacino – 24,4; piridoksino – 9,6 [3].

Vitaminai randami skirtingose kukurūzų branduolio dalyse – karotenoidai. Daugiausia randami endosperme ir tik maži kiekiai gali būti gemale, o vitamino E daugiausia randama gemale. Vandenyje tirpūs vitaminai labiausiai paplitę aleurono sluoksnyje, mažesnis kiekis gemale ir endosperme. Šis pasiskirstymas yra svarbus perdurbant, nes jo metu prarandama vitaminų [11].

Aplinkos veiksniai, pavyzdžiui dirvožemio kokybė, daro didelę įtaką mineralų kiekiui branduolyje. Gemale yra beveik 80 % mineralų, o endosperme – tik mažiau nei 1 % mineralų. Fosforas, kalis ir magnis yra dažniausiai kukurūzuose randami mineralai, jie sudaro maždaug 85 % mineralinių medžiagų, randamų kukurūzuose. Kukurūzuose taip pat randama ir nemažai sieros, kuri yra metionino ir cistino sudedamoji dalis. Cinko randama apie 20  $\mu\text{g/g}$ , iš kurių 30 % randama endosperme. Sunkiųjų metalų kukurūzų branduolyje randama labai nedaug [3, 4].

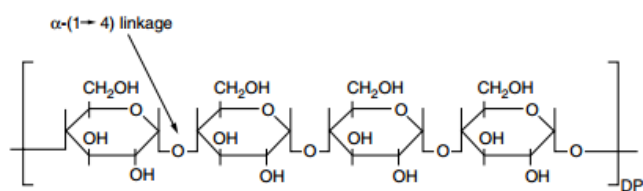
Fosforas yra vienas iš elementų, reikalingų augalų augimui. Fito rūgštis, dar žinoma kaip inozitolio heksakisfosfatas, yra pirminė fosforo junginių saugykla, kurioje saugoma iki 80 % viso fosforo, esančio augalų sėklose. Fitatai (fitino rūgšties druskos) daugiausia randamos grūdo aleurono sluoksnyje ir gemale. Fito rūgšties chelatai yra stiprūs junginiai ir formuoja netirpias druskas su magniu, kalciumu, cinku ir geležimi, todėl mažėja biologinis jų prieinamumas [19, 20]. Fito rūgšties pašalinimas arba sumažinimas gali padidinti daugelio mineralų biologinį prieinamumą bei maistinę produkto vertę. Grūdų malimas šalina fito rūgštį, bet tuo pačiu pašalina ir didelę dalį mineralų bei maistinių skaidulų, todėl negali būti taikomas šiai problemai spręsti. Panašus efektas pasireiškia ir taikant mirkymą arba ekstrakciją vandeniniuose tirpaluose – šiais būdais galima pašalinti apie 2 trečdalius fito rūgšties, tačiau prarandami nemaži kiekiai mineralų, vandenyje tirpių baltymų ir vitaminų. Terminiškai apdorojant grūdus, taip pat pasireiškia šalutinis efektas – mineralai yra išplaunami verdančiame vandenyje. Taigi, padaryta išvada, jog geriausias būdas – vengti fito rūgšties susidarymo arba spartinti jos degradaciją naudojant fito rūgštį hidrolizuojančius fermentus. Šiuos fermentus galima naudoti daiginimo metu, tačiau kai kurie grūdai yra jautresni apdorojimui fermentais nei kiti. Pavyzdžiui, kviečiai, miežiai ir rugiai pasižymi dideliu fitaziniu aktyvumu grūduose, o kukurūzai, sorai ir sorgai pasižymi mažesniu pradiniu fitaziniu aktyvumu, tačiau jis žymiai padidėja po sudygimo [21].

Kukurūzai taip pat pripažinti puikiu fitochemikalų, tokių kaip tokoferoliai, fitosteroliai ir karotenoidai, šaltiniu. Jie turi antioksidacinių savybių. Kukurūzai yra geras liuteino (karotenoido) šaltinis. Liuteinas padeda užkirsti kelią kataraktai, sumažina tam tikro vėžio (pvz. gaubtinės žarnos) riziką [5].

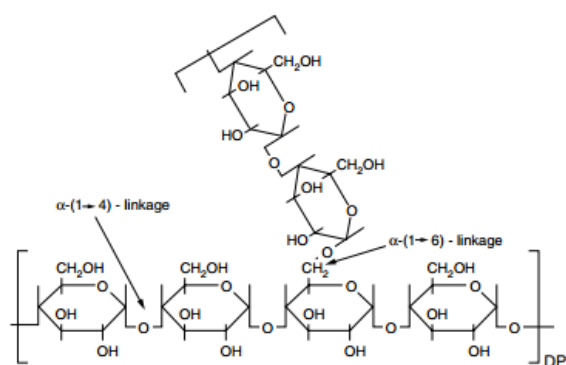
### 1.2.1 Kukurūzų krakmolos

Krakmolos yra svarbiausias angliavandenis randamas augaluose. Jį sudaro 2 polisacharidai – amilozė ir amilopektinas. Amilozė yra linijinė makromolekulė, sudaryta iš  $\alpha$  – D – gliukopiranozės liekanų, tarpusavyje sujungtų (1→4) ryšiais, o amilopektinas – labai šakotas polisacharidas, kurį sudaro  $\alpha$  – D – gliukopiranozės liekanos, tarpusavyje sujungtos (1→4) ryšiais (kaip amilozėje), tačiau didesnė dalis sujungta (1→6) ryšiais, kurie ir suteikia labai šakotą struktūrą [22, 23]. Gliukopiranozės ryšiai amilozėje ir amilopektine pateikti 1.2.1. ir 1.2.2. paveiksluose.

Amilozė ir amilopektinas turi skirtingas savybes – amilozė turi didelį polinkį retrograduoti ir gaminti kietus gelius bei stiprias plėves, amilopektinas – disperguoja vandenyje, yra labai stabilus, sudaro minkštus gelius ir silpnas plėves [24].



1.2.1. pav. Gliukopiranozės ryšys amilozėje [22]



1.2.2. pav. Gliukopiranozės ryšys amilopektine [22]

Įprastai kukurūzų krakmolą sudaro apie 20 % amilozės ir 80 % amilopektino, tačiau yra ir išimčių – pvz., „vaškinė“ krakmolą sudaro išimtinai amilopektinas, taip pat yra kelios kukurūzų veislės su padidintu amilozės kiekiu (*Hylon* veislė, kuri turi iki 50 % amilozės) [25]. Kukurūzų krakmolos susideda iš sferinių ir daugiakampio formos granulių, kurių skersmuo svyruoja nuo 5 iki 25  $\mu$ m [26].

### **1.3 Kukurūzų krakmolo funkcinės savybės**

Krakmolas turi nemažai naudingų funkcinių savybių, kurios gali būti taikomos maisto pramonėje bei kitose srityse. Svarbiausios funkcinės krakmolo savybės yra brinkimas (geliacija), kleisterizacija ir retrogradacija.

#### **1.3.1 Krakmolo brinkimas**

Krakmolo granulės yra netirpios šaltame vandenyje, tačiau gali jame išbrinkti. Šildant išbrinkusias krakmolo granules, gaunami geliai. Krakmolo brinkimas yra krakmolo granulių viduje vykstantis molekulių išsidėstymo tvarkos suirimas. Brinkimo metu krakmolo granulės minkštėja ir brinksta, išlaisvina polisacharidus į supančią terpę. Kai krakmolo granulės kaitinamos virš kritinės temperatūros 62-72 °C, esant vandens pertekliui, granulės absorbuoja didelį vandens kiekį ir išbrinksta iki daug kartų didesnio nei pradinis dydžio. Viršijus kritinę temperatūrą, negrįžtamai pasikeičia krakmolo savybės, tokios kaip granulių brinkimas, klampumo didėjimas, krakmolo tirpumas ir kt. [22, 27, 28].

Vanduo atlieka svarbų vaidmenį krakmolo brinkimo procese – didėjant vandens kiekiui krakmolo suspensijoje, brinkimo temperatūra mažėja. Krakmolo brinkimo procesui įtakos taip pat turi ir šarmų, druskų, cukrų, lipidų, alkoholių, organinių rūgščių ir jų druskų buvimas. Jie nutraukia vandenilinius ryšius krakmolo granulėje arba formuoja tirpius kompleksus su krakmolu ir daro įtaką krakmolo brinkimo temperatūrai bei brinkimo laipsniui [29].

#### **1.3.2 Krakmolo kleisterizacija**

Terminas „kleisterizacija“ naudojamas apibūdinti reiškinį, vykstantį po brinkimo tirpinant krakmolą. Apskritai, krakmolo kleisterį galima apibūdinti kaip dviejų fazių sistemą, sudarytą iš dispersinės išbrinkusių granulių fazės ir vientisos išplautos amilozės fazės. Brinkimas skatina žymius krakmolo suspensijos struktūrinius pokyčius ir molekulėse, ir granulėse. Brinkimo metu, krakmolo granulės brinksta laipsniškai hidratuojant, tačiau tvirčiau susijungusios kristalinės struktūros plonos amilopektino plokštelės išlieka nepakitę, laiko granules kartu. Kadangi granulės toliau plečiasi, įgeria daugiau vandens ir brinksta, granulės užima daugiau vietos. Išbrinkusių granulių judėjimas yra apribotas, todėl klampumas greitai padidėja. Kai pasiekiamas didžiausias išbrinkimo lygis, granulės pradeda plyšti toliau jas šildant ir veikiant šlyties jėga, kas sukelia klampumo mažėjimą [22, 30].

Kleisterizacijos savybės yra svarbios daugelyje krakmolo panaudojimo sričių, pvz. naudojant krakmolą kaip tirštiklį arba gaminant kljus. Krakmolas iš įvairių augalų šaltinių, kurie turi skirtingą amilozės ir lipidų kiekį bei skirtingai išsišakojusį amilopektiną, turi skirtingas kleisterizacijos

savybes. Krakmolo lipidų struktūra ir kiekis turi reikšmingos įtakos kleisterizacijos savybėms. Pavyzdžiui, paprastas kviečių krakmolas turi didelę fosfolipidų koncentraciją, tuo tarpu paprastame kukurūzų krakmole daugiausia yra laisvų riebalų rūgščių, trigliceridų ir tik labai mažas kiekis fosfolipidų. Ypatingai aukštai paprasto kviečių krakmolo kleisterizacijos temperatūrai ir mažam klampumo maksimumui įtakos turi amilozės – fosfolipidų kompleksas [26].

### **1.3.3 Krakmolo retrogradacija**

Krakmolo retrogradacija yra procesas, kurio metu krakmolo molekulės, esančios amorfinėje būsenoje transformuojasi į labiau tvarkingą kristalinę struktūrą. Transformacija gali būti trumpalaikė ir ilgalaikė retrogradacija. Jos skiriasi tuo, jog trumpalaikę retrogradaciją sukelia amilozės agregacija (pasireiškia ankstesniame laikymo laikotarpyje), o ilgalaikę retrogradaciją sukelia amilopektino persikristalizavimas (pastebimas vėlesniame laikymo laikotarpyje). Iš esmės, tai yra kristalizacijos procesas, kylantis dėl vandenilinių ryšių susidarymo tarp hidroksilo grupių gretimose krakmolo molekulėse [31, 32, 33].

Retrogradacija svarbi pramoniniam krakmolo naudojimui, nes tai gali būti siekiama galutinė būseną, tačiau retrogradacija taip pat sukelia ir krakmolo kleisterio nestabilumą. Maisto produktų perdirbimo ir laikymo metu krakmolo retrogradacija labai paveikia produkto tekstūrą, stabilumą, kokybę, virškinamumą bei funkcionalumą. Norint pakeisti retrogradacijos procesą, buvo kuriamos krakmolo cheminės bei fizikinės modifikacijos [22, 34].

## **1.4 Kukurūzų perdirbimo būdai**

Skirtingi kukurūzų apdorojimo būdai, pvz. drėgnas malimas arba sausas malimas gali pagerinti galutinę maisto produktų kokybę [2].

Sausas kukurūzų malimas yra procesas, kurio metu kukurūzai išskiriami į endospermo, gemalo ir lukštų frakcijas. Endospermas apdorojamas į kruopas ir miltus, gemalas – į aliejų, o kukurūzų branduolio likučiai – į gyvulių pašarus [35].

Šlapias kukurūzų malimas yra procesas, kurio metu kukurūzai išskiriami į 4 pagrindines dalis – krakmolą, gemalus, skaidulines medžiagas ir baltymus arba glitimą, ir toliau paversti išskirtus komponentus į parduoti tinkamus produktus. Pavyzdžiui, krakmolas naudojamas saldikliams, etanoliui bei kukurūzų krakmolui, gemalas – kukurūzų aliejui, skaidulos – baltymams [36].

### **1.4.1 Šlapias malimas**

Prieš saugojimą, išlukštenti kukurūzai, skirti drėgnam malimui yra valomi, norint pašalinti visas pašalines medžiagas (vabzdžius, akmenis ir šiukšles). Kai jie paimami iš sandėlio, dar kartą valomi, o tada mirkomi – brinkinami branduoliai [18]. Kukurūzai mirkomi 30–50 valandų, 45–50



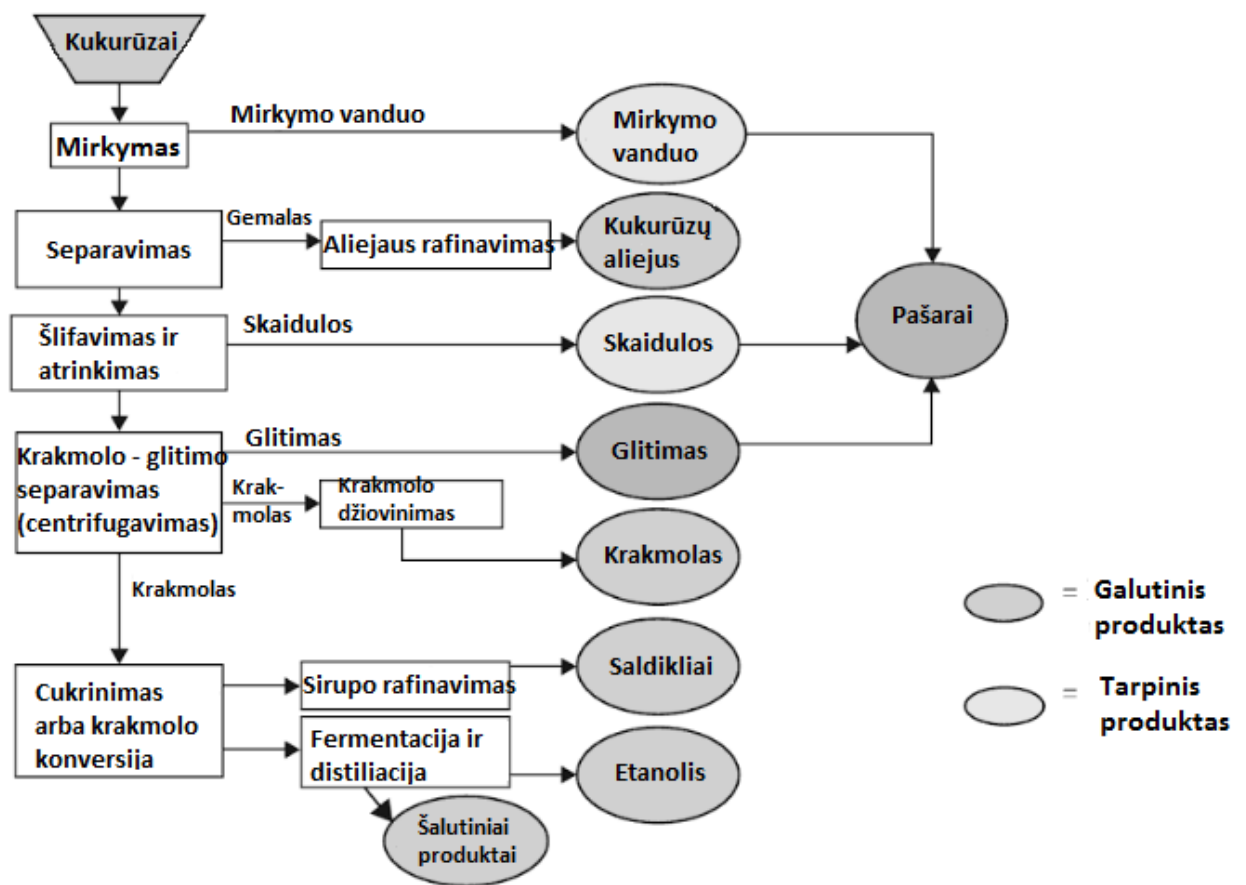
°C sieros dioksido tirpale [37]. Mirkymo procese maisto medžiagos yra absorbuojamos vandens. Kai mirkymas yra pabaigtas, vanduo išgarinamas ir gaunamas kukurūzų ekstraktas, naudojamas gyvulių pašarui [18].

Vėlesnio malimo metu, kukurūzo gemalas atskiriamas nuo branduolio. Gemalai toliau apdorojami, norint pašalinti aliejų, o likę gemalų miltai išskiriami gyvulių pašarui [18].

Po to, kai gemalas pašalintas, kitos branduolio dalys, turinčios krakmolo, glitimo ir sėlenų (išorinis branduolio lukštas) sijojamos ir sėlenos pašalinamos. Likęs krakmolo ir glitimo mišinys separuojamas centrifuguojant [18]. Sunkesnis krakmolas nusėda mišinio apačioje, o lengvesnis glitimas kyla į mišinio viršų. Glitimas yra koncentruojamas ir džiovinamas, norint gauti kukurūzų miltus, kurie turi 60 % baltymų [37]. Krakmolo dalis džiovinama, arba modifikuojama ir džiovinama [18]. Kukurūzų šlapio malimo schema pateikta 1.4.1. paveiksle.

#### ***1.4.1.1 Šlapio malimo produktai***

Kukurūzų krakmolas yra pagrindinis šlapio malimo produktas. Jis išskiriamas grynas iš 67–69 % kukurūzų žaliavos sausų medžiagų. Kukurūzų krakmolas plačiai naudojamas, nes yra nebrangus, neturi charakteringo skonio ir gaminant sudaro glotnų bei beveik skaidrų kleisterį vandenyje ar kituose skaidriuose skysčiuose. Skirtingų formų kukurūzų krakmolas (nemodifikuotas krakmolas, rūgštinti modifikuotas krakmolas, maltodekstrinai ir pirodekstrinai, oksiduotas krakmolas, cheminiai dariniai, „vaškinis“ krakmolas, daugiau amilozės turintis krakmolas) naudojamas daugumoje pramonės sričių [38].



1.4.1. pav. Kukurūzų šlapio malimo schema [36]

## 1.5 Antriniai kukurūzų produktai susidarantys kukurūzų kruopų gamybos metu

Kukurūzai yra apdorojami sausuoju arba drėgnuoju malimu, skirstant juos į frakcijas. Dauguma produktų, gautų po malimo naudojami žemės ūkio ir pramonės sektoriuose. Tačiau, sėlenos, gemalai ir glitimas naudojami tik gyvūnų pašarams. Antriniai kukurūzų produktai turi nemažai ląstelienos, baltymų ir mineralų. Kukurūzų sėlenose rasta apie 5 % baltymų, 0,5 % riebalų, 17,7 % angliavandenių ir 0,5 % pelenų. Nuriebintų gemalų miltai turtingi mineralais ir baltymais, kuriuose lizino 2 kartus daugiau nei normaliuose kvietiniuose miltuose. Nuriebintų gemalų miltuose rasta 25 % baltymų, 0,5 % riebalų, 4 % skaidulinių medžiagų bei 10 % pelenų. Kukurūzų glitime yra 69,4 % baltymų, 4,3 % riebalų, 17,5 % krakmolo, 0,6 % skaidulinių medžiagų, 1,9 % pelenų ir 7,3 % angliavandenių. Taigi, kukurūzų antrinių produktų panaudojimas maisto žmonėms gamyboje galėtų atnešti nemažą pelną [39].

Sunkieji metalai kaupiasi grūduose iš aplinkos ir daugiausia jų randama išoriniuose grūdo sluoksniuose. Šie sluoksniai taip pat patenka į antrinius kukurūzų produktus, todėl svarbu juose nustatyti sunkiųjų metalų koncentracijas. Sunkiųjų metalų šaltiniai gali būti įvairūs: natūralūs šaltiniai, žemės ūkio šaltiniai, pramonės šaltiniai, namų nuotekos, atmosferos šaltiniai ir kiti

šaltiniai [40]. Kukurūzų kruopose randami nedideli kiekiai sunkiųjų metalų – pvz. kadmio (0,174 µg/100g), švino (0,415 µg/100g), arseno (1,98 µg/100g), nikelio (7,21 µg/100g), chromo (2,0 µg/100g) [41]. Sunkieji metalai, pvz. kadmis, nikelis, arsenas ir chromas gali kelti pavojų žmonių sveikatai. Jie yra stiprūs kancerogenai. Kadmio vartojimas sukelia Itai-Itai ligą, gyvsidabrio vartojimas – Minamata ligą. Kiti sunkieji metalai, pvz. arsenas sukelia apsinuodijimą užterštu vandeniu [42].

## **1.6 Kukurūzų produktų galimi apdorojimo būdai**

### **1.6.1 Ekstruzija**

Ekstruzija yra trumpas procesas, vykdomas aukštoje temperatūroje, kurio metu drėgnos ir išbrinkusios krakmolingos / baltymingos maisto medžiagos yra plastifikuojamos ir apdorojamos ekstruderio vamzdyje, kartu veikiant drėgmei, slėgiui, temperatūrai ir šlyties jėgai, todėl vyksta molekuliniai pokyčiai bei cheminės reakcijos [43, 44]. Ekstruzija, lyginant su kitais maisto produkto apdorojimo būdais, pranašesnė savo nepertraukiamu procesu, dideliu našumu ir maistinių medžiagų išsaugojimu, nes ekstruzija vyksta aukštoje temperatūroje trumpą laiką [45].

Žmonės ir kiti monogastriniai gyvūnai negali lengvai virškinti neželatinizuoto krakmolo. Ekstruzija skiriasi nuo kitų maisto apdorojimo būdų tuo, jog želatinizacija įvyksta esant mažesniai drėgmės lygiui (12–22 %) [46]. Krakmolas yra šildomas ir želatinizuojasi vandens pertekliuje. Krakmolo brinkimas yra krakmolo granulių fazinis virsmas iš tvarkingos į netvarkingą būseną šildymo metu, esant vandens pertekliui [47]. Mažiausiai 14 vandens molekulių reikia tam, jog įvyktų baigtinis krakmolo želatinizavimasis. Tirpimui ir želatinizavimui reikalinga krakmolo konversija iš kristalinės į amorfinę struktūrą [48]. Krakmolingus maisto produktus, tokius kaip kukurūzų miltus, papildomai papildant sacharozę, druska ar skaidulomis, gali būti paveikiamas jų brinkimas ir plėtimasis. Cukrus ir kitos nejoninės medžiagos gali slopinti želatinizavimą didinant temperatūrą, reikalingą želatinizavimo entalpijai [49].

Šakotos struktūros amilopektinas yra jautrūs šlyties jėgoms. Ir amilopektino, ir amilozės molekulės gali sumažinti molekulinę masę. Tačiau, esant didesniems amilopektino molekulių kiekiams kukurūzų miltuose, buvo pastebimas didesnis molekulinės masės sumažėjimas [50]. Žemos temperatūros ekstruzija (160–180 °C, produkto drėgmės kiekis 16–20 %), krakmolo, esančio kvietiniuose miltuose, santykinė molekulinė masė žymiai sumažėjo, o baltymų kiekio pokyčių nebuvo pastebėta [50]. Sraigto konfigūracija gali būti naudojama sumažinti arba padidinti krakmolo suskaldymą [51].

Ekstruzijos metu amilozės su lipidais sudaro kompleksą. Šio komplekso susidarymo mastas priklauso tiek nuo krakmolo, tiek ir nuo lipidų tipo. Amilozės – lipidų kompleksus labiau sudaro

monogliceridai ir laisvosios riebalų rūgštys, lyginant su trigliceridais. Didelio klampumo krakmolai taip pat skatina kompleksų susiformavimą [52].

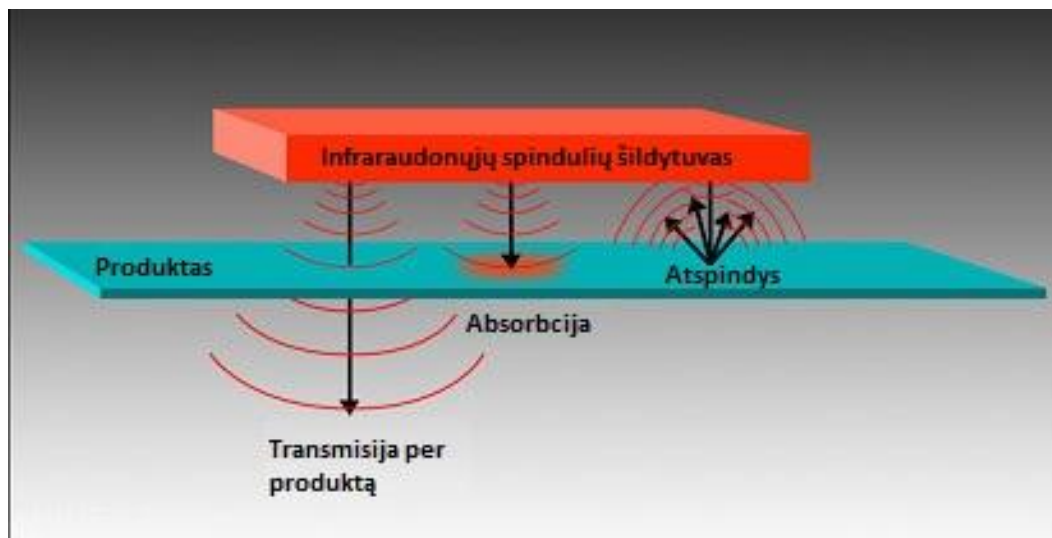
Ekstruduotas krakmolai gali pagerinti funkcionalumą maisto produktuose, ypač greitame maiste dėl krakmolo pokyčių – brinkimo, tirpimo arba retrogradacijos, kurie daro tiesioginę įtaką galutinio produkto tekstūrai [53]. Ekstruzijos metu šiluminė ir šlyties energija sukelia ne tik krakmolo, bet ir kitų maistinių medžiagų pokyčius, pvz. baltymų denatūraciją, lipidų oksidaciją, vitaminų bei fitochemikalų praradimą, formuoja skonį, didina mineralinių medžiagų biologinį prieinamumą ir maistinių skaidulų tirpumą [54, 55, 56, 57].

Ekstruzija naudojama įvairių rūšių produktams gaminti – greitai paruošiamiems dribsniams, sūriams ir saldiems užkandžiams, skrebučiams sriubai ir salotoms, gyvūnų ėdalui, žuvų maistui, produktams su pakeistomis savybėmis, pvz. nuriebalinti miltai su padidintu baltymų kiekiu, įvairūs konditerijos gaminiai [58], o taip pat ekstruduota kukurūzų žaliava naudojama kepiniams.

### **1.6.2 Apdorojimas IR spinduliais**

Šildymas infraraudonaisiais (IR) spinduliais yra procesas, kai trumpą laiką medžiaga veikiama elektromagnetinėmis bangomis 1,8–3,4  $\mu\text{m}$  ilgio intervale, ją pastoviai sausai šildant [59]. Šildymas IR spinduliais yra labiau efektyvus negu konvekcinis ar kondukcinis šildymas [60]. Tinkamai optimizuotas IR šildymo procesas sumažina energijos sunaudojimą lyginant su konvekciniu bei kondukciniu šildymu [61]. Šildymo IR spinduliais schema pateikta 1.6.2. paveiksle.

Šildymas IR spinduliais turi nemažai privalumų, lyginant su tradiciniais šildymo būdais – pvz., produktas yra šildomas tiesiogiai ir tolygiai, gaunami aukštos kokybės produktai, sutrumpinamas apdorojimo laikas, efektyviai naudojama energija [62]. Švitinimas yra patikimas ir saugus būdas pagerinti maistinę maisto ir pašarų vertę. Taip pat šildant IR spinduliais, pagerinamas produkto skonis ir virškinamumas, reologinė kukurūzų miltų tešlos charakteristika [59, 63]. Buvo nustatyta, jog IR spinduliai sumažina ankštinių daržovių virimo laiką, nes suteikia joms atviresnę mikrostruktūrą, kuri didina vandens absorbciją bei krakmolo brinkimo laipsnį, mažina baltymų tirpumą [64, 65]. Buvo įrodyta, jog švitinimas IR spinduliais sumažina arba inaktyvuoja kai kurias antimonybines medžiagas sėklose ar miltuose [66, 67, 68]. Tuo tarpu, dauguma tradicinių maisto apdorojimo būdų neigiamai veikia galutinio produkto juslines savybes, suprastėja maistingų medžiagų kokybė, taip pat jais negalima visiškai pašalinti antimonybinių medžiagų, esančių sėklose, grūduose ar pašaruose [69].



1.6.2. pav. Šildymo IR spinduliais schema [70]

Apdorojimas IR spinduliais turi ir trūkumų – gali sukelti termostabilių fitochemikalų, pvz. fenolinių junginių bei amino rūgščių suirimą [63, 71].

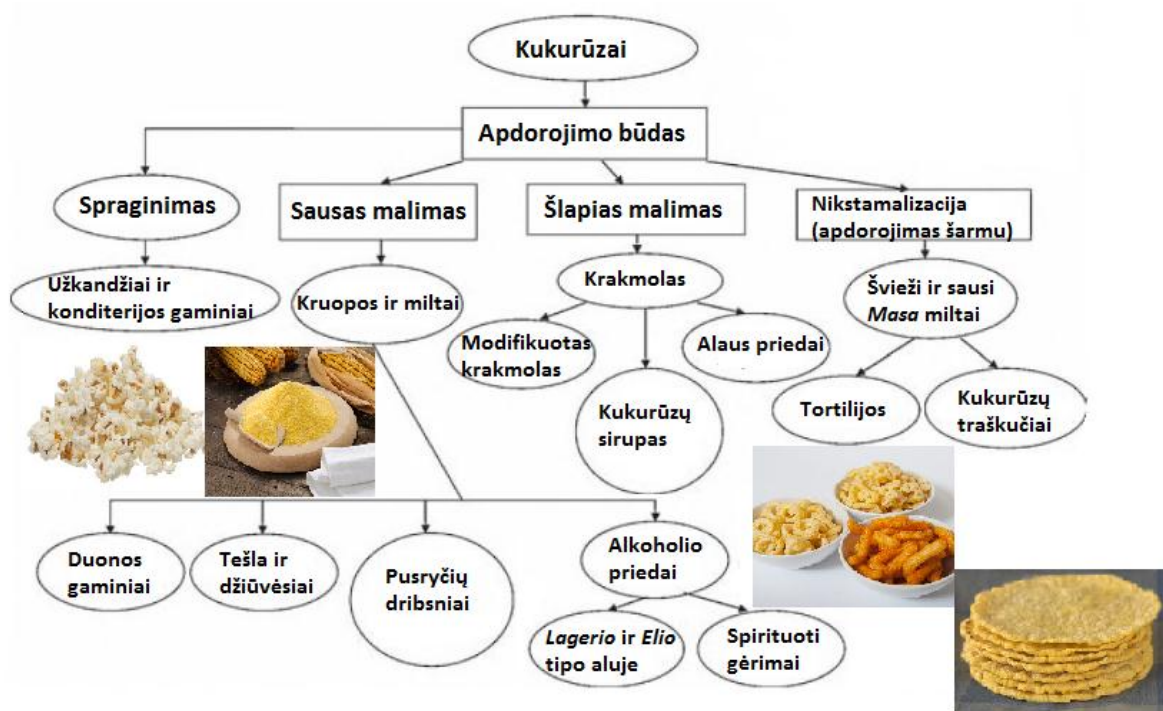
Apdorojimas IR spinduliais pakeičiant virimą riebaluose nėra plačiai ištirtas. Maisto pramonėje daugiausia jis naudojamas grūdams, vaisiams bei daržovėms džiovinti, pasterizacijai, sterilizacijai, atšildymui, kepimui, skrudinimui [72, 73, 74, 75, 76, 77]. IR spinduliai taip pat naudojami sausainių, duonos, tortilijų, skrudintos kavos, arbatos ir greitai paruošiamų makaronų gamyboje [61, 73, 78, 79, 80].

### 1.7 Kukurūzų produktų panaudojimas kepiniams

Kukurūzų panaudojimas maisto pramonėje priklauso nuo jų apdorojimo būdo. Yra keturi kukurūzų apdorojimo būdai, kurie pateikti 1.7.1. paveiksle – tai spraginimas, sausas malimas, šlapias malimas ir apdorojimas šarmu. Šie būdai lemia, kokia žaliava bus gauta ir galiausiai, kokiems produktams gaminti ją bus galima panaudoti. Skirtingos kukurūzų panaudojimo sritys, atsižvelgiant į jų apdorojimo būdą, pateiktos 1.7.1. paveiksle.

Lyginant su rugiais ir kviečiais, didžiausia dalis užauginamų kukurūzų yra sunaudojama gyvulių pašarui bei bioetanolui gaminti.

Krakkolas yra pagrindinė daugelio kepinių sudedamoji dalis. Jo svarbios savybės yra vandens sugertis, brinkimas ir retrogradacija. Keletas kukurūzų krakkolo tipų yra naudojami duonos gaminių ir sausainių pramonėje. Jie gali būti naudojami gaminant kepimo miltelius ir norint užkirsti kelią priešlaikinei reakcijai tarp rūgšties ir bazės. Įprastinis kukurūzų krakkolas taip pat naudojamas pudingų gamyboje. Gaminant sausainius padeda išlaikyti jų tekstūrą – produktai gaunami ne tokie sunkūs bei trapūs, mažiau ruduoja. Acetilintas krakkolas naudojamas pyragų įdarams bei konditeriniams džemams [22, 81].



1.7.1. pav. Kukurūzų panaudojimo sritys atsižvelgiant į apdorojimo būdą [82]

Vystant sveikų ir maistingų, turinčių daug skaidulų maisto produktų gamybą, susiduriama su problema, kaip išsaugoti juslinę ir funkcinę produktų kokybę, norint įtikti vartotojams. Kukurūzų sėlenose esančios skaidulinės medžiagos žinomos dėl teigiamo poveikio žmonių sveikatai ir mitybai. Singh ir kt. panaudojo kukurūzų sėlenas, kurios gautos kaip grūdų malimo šalutiniai produktai, pyragų gamyboje, padidinant skaidulinių medžiagų kiekį produkte. Tyrimai parodė, jog pyragų kietumas ir elastingumas nepakito gamyboje naudojant kukurūzų sėlenas. Miltus pakeitus 20 % kukurūzų sėlenų, pyragai pasižymėjo priimtinais juslinėmis savybėmis – konsistencija, skoniu ir bendru priimtumu. Nenustatyta jokia maisto kokybės, apdorojimo savybių bei priimtumo pablogėjimo pyragų gamyboje naudojant kukurūzų sėlenas. Tyrimai parodė, jog kukurūzų sėlenos gali būti naudojamos pyragų bei kitų keptų maisto produktų gamyboje [9].

Kukurūzai yra grūdai, neturintys glitimo, todėl tinkami gaminti maistui, skirtam celiakija sergantiems žmonėms [7]. Jie – vieni perspektyviausių grūdų, kurie neturi glitimo, kuris yra pagrindinė problema kvietiniuose ir kitų grūdų kepiniuose, turinčiuose glitimo baltymų. Gana sėkmingi bandymai atlikti plėtojant kukurūzų žaliavos panaudojimą gaminant ruginę duoną su raugu [8].

## 1.8 Pieno rūgšties bakterijų raugai ir jų svarba kepiniams

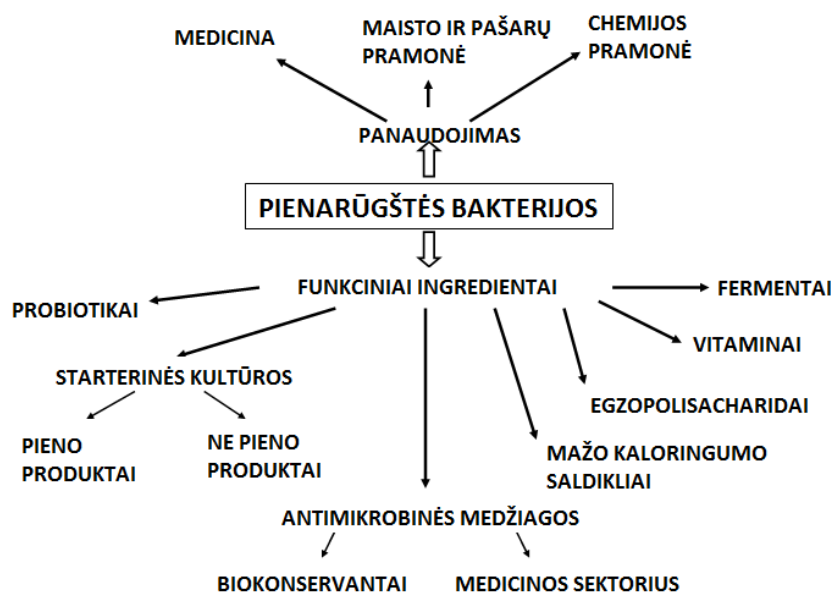
### 1.8.1 Pieno rūgšties bakterijos

Pieno rūgšties bakterijos (PRB) yra didelė grupė anaerobinių fakultatyvinių mikroorganizmų, kurie gali paversti fermentuojamus angliavandenius į pieno rūgštį. Kai kurios PRB padermės iš gyvūnų ir žmonių žarnyno mikrofloros buvo priimtos kaip probiotikai arba starterinės kultūros ir daro įtaką žarnyno mikrobiotos aktyvumui bei sudėčiai [83]. PRB pripažįstamos saugiais mikroorganizmais ir randamos labai skirtingose terpėse, įskaitant grūdus, vaisius ir daržoves, pieną ir mėsą, vaidina svarbų vaidmenį šių substratų fermentacijoje ir daugelio fermentuotų maisto produktų bei gėrimų gamyboje [84].

Dėl savo metabolinių savybių PRB žymiai prisideda prie skonio, tekstūros, maistinės vertės ir mikrobiologinio saugumo fermentuotuose maisto produktuose [85, 86]. Dėl šių priežasčių, PRB gali būti naudojamos daugelyje pramonės sričių, o dažniausiai pasirenkamos gentys – *Lactococcus* (pienas), *Lactobacillus* pieno, mėsos, daržovių, grūdų produktų gamyboje, *Leuconostoc* – daržovių ir pieno produktų gamyboje, *Pediococcus* (daržovių ir mėsos produktų gamyboje), *Oenococcus* - vyno ir *Streptococcus* - pieno produktų gamyboje [87]. PRB bakterijų panaudojimo schema pateikta 1.8.1. paveiksle.

Nors duonos gamyboje mielės plačiai naudojamos, daugelio tipų duonos su raugais gamyboje pieno rūgšties bakterijos (PRB) taip pat atlieka svarbų vaidmenį. Ypač tai svarbu ruginės duonos gamyboje. Fermentacijos procese, vykstančiame gaminant ruginę duoną, svarbų vaidmenį atlieka tiek homofermentinės, tiek heterofermentinės PRB. Pagaminama pieno rūgštis pagerina ruginės duonos kepimo savybes, slopinant aukštą endogeninį  $\alpha$  – amilazės bei kitų fermentų aktyvumą. Taip pat kontroliuoja arba slopina mikrofloros užkrėstumą arba gedimą fermentacijos metu ir produkte dėl pieno ir acto rūgščių, kaupia skonio komponentus, skylant fitatams padidina mineralinių medžiagų prieinamumą [88].

Dėka pieno rūgšties bakterijų metabolizmo, raugų naudojimas gerina duonos struktūrą, organoleptines ir maistines sudedamųjų dalių savybes, didina biogeninių junginių kiekį, sumažina antimaistinių veiksnių lygį bei glikeminį indeksą [89].



1.8.1. pav. PRB bakterijų panaudojimas [90]

## 1.8.2 Raugų įtaka kepiniams

Raugų fermentacija yra vienas iš dažniausiai naudojamų ir labiausiai veiksmingų būdų pagerinti įvairių rūšių duonos kvapą, skonį, galiojimo laiką ir struktūrą. Šalia tradicinio panaudojimo ruginės ir kvietinės duonos gamyboje, raugų taikymas paplitęs ir duonos be glitimo gamyboje. Buvo įrodyta, kad nedideli pieno rūgšties bakterijų fermentuotų raugų kiekiai tešlos be glitimo gamyboje lyginant su chemiškai rauginta arba nerauginta tešla, gali padidinti klampumą, homogenizuoti minkštimą, sukurti stipresnį skonį bei prailginti galiojimo laiką, sustabdant žiedėjimo procesą ir apsaugant duoną nuo pelėsių bei bakterijų augimo [91, 92].

Raugų naudojimas kukurūzų duonos tešloje žymiai padidino duonos kepalų tūrį bei minkštumo aktyvumą, tešla buvo minkštesnė ir mažiau elastinga, bet mažiau trapi negu chemiškai rauginta tešla arba nerauginta tešla [93].

### 1.8.2.1 *Fitazinis aktyvumas*

Fito rūgštis yra antimonybinis veiksnys, daugiausia randamas išoriniuose grūdo branduolio sluoksniuose – perikarpyje ir gemale [94]. Fito rūgštis turi antimonybinių savybių, nes gali sudaryti kompleksus su baltymais ir metalų jonais, užkertant kelią optimaliai mineralinių medžiagų absorbcijai iš žarnyno [95]. Didelis fitatų kiekis sumažina daugelio mineralinių medžiagų įsisavinimą, įskaitant geležį, cinką, magnį ir kalcį [96]. Tai yra didelė problema besivystančiose šalyse, kur grūdai ir ankštiniai augalai yra pagrindinis mineralinių medžiagų šaltinis didelėms populiacijos grupėms ir kur augaliniu maistu paremta mityba susijusi su geležies ir cinko trūkumu [97].



Fitazė katalizuoja fito rūgšties hidrolizę susidarant mioinozitoliumi ir fosforui. Fitazės yra fermentai, kurie daro didelę įtaką gerinant maisto produktų ir pašarų, turinčių sudėtyje fitatų, maistinę vertę [98]. Daugelis mikroorganizmų turi fitazinį aktyvumą – tai mielės, bifidobakterijos, PRB [99]. pH vertė pasiekta raugo fermentacijos metu yra tinkama aktyvuoti miltų endogenines fitazes. Be to, raugo PRB taip pat pasižymi fitaziniu aktyvumu [100, 101, 102].

Duonos gamybos metu fito rūgštis yra skaldoma fitazių, kurioms daro įtaką temperatūra, pH, fermentacijos laikas bei priedai. Raugų fermentacija gali padidinti mineralų biologinį prieinamumą. Fermentacija sukuria optimalias pH sąlygas endogeninių fitazių aktyvavimui ir padidina mineralų tirpumą, su raugais susiję PRB gali didinti fitazinį aktyvumą. Kviečiuose, o ypač kviečių duonoje, raugų fermentacija pagerina fitatų hidrolizę ir mineralų tirpumą lyginant su įprasta fermentacija naudojant mieles [92].

### **1.8.2.2 Amilazinis aktyvumas**

$\alpha$  – amilazė (1,4- $\alpha$ -D-gliukan-gliukanohidrolazė) yra endoglikozidazė, kuri hidrolizuoja krakmolą iki dekstrinų, maltozės ir gliukozės [103].

$\alpha$  – amilazė gali pakeisti didelę dalį krakmolo rūgštinės hidrolizės proceso ir dažniausiai yra naudojamas krakmolo apcukrinime. Be to, šis fermentas naudojamas kepinių pramonėje, siekiant prailginti duonos galiojimo trukmę, kontroliuoja duonos žiedėjimo procesus [92, 104]. Duona su  $\alpha$  – amilaze pasižymi didesne apimtimi bei poringumu lyginant duoną be fermentų [105].

## **2 Tyrimų objektai ir metodai**

### **2.1 Tyrimų objektai**

#### **2.1.1 Šalutiniai kukurūzų produktai**

Tyrimams pasirinkti kukurūzų šalutiniai gamybos produktai gauti iš Pasvalio rajone, Ustukių kaime įsikūrusio „Ustukių malūno“, kuriame gaminami įvairūs grūdų produktai. Įmonėje kukurūzų žaliava (kukurūzų šalutiniai produktai) buvo apdorota 2 būdais – IR spinduliais bei ekstruzija, bei išskirstyta pagal dalelių svorį į 6 frakcijas. Gauti kukurūzų produktai, atlikus cheminius tyrimus buvo išbandyti kepinių (bandelių ir duonos su raugais) gamyboje.

#### **2.1.2 Bandelės su kukurūzų produktais**

Eksperimentas vykdytas norint sužinoti, su koku priedo kiekiu bandelės pasižymi geriausiomis technologinėmis savybėmis bei yra jusliškai labiausiai priimtinos vertintojams. Buvo keptos bandelės iš kvietinių 550 D miltų (UAB Malsena) su 0, 10, 20, 30 ir 40 % kukurūzų priedu (nuo miltų masės). Kepimams naudoti neapdoroti kukurūzų šalutiniai produktai. Receptūra pateikta 2.1.2.1. lentelėje.

2.1.2.1. lentelė. Bandelių su kukurūzų šalutinių produktų priedu receptūros

Komponentai	Kiekis, g				
	0%	10%	20%	30%	40%
<b>Kvietiniai miltai</b>	250	225	200	175	150
<b>Kukurūzų miltai</b>	0	25	50	75	100
<b>Sausos mielės</b>	6	6	6	6	6
<b>Vanduo</b>	137,5	137,5	137,5	137,5	137,5
<b>Cukrus</b>	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
<b>Druska</b>	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>Aliejus</b>	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

Visi komponentai sumaišyti maišyklėje, maišant 3 minutes lėtai ir 5 minutes greitai. Gauta tešla rauginta 45 minutes 30 °C temperatūroje. Po rauginimo formuotos 90 gramų bandelės, kurios kildintos 45 min 35 °C temperatūroje. Bandelės keptos krosnyje CONDO (MIWE, Vokietija) 210 °C temperatūroje 15 minučių. Nustatytas bandelių savitasis tūris, minkštimo akytumas, kepinio savybė išlaikyti formą, atliktas juslinis vertinimas.

Įvertinus kepinių savybes, buvo pasirinktas tinkamiausias kukurūzų priedo kiekis – 20 %. Sekančio etapo metu bandelės buvo keptos pagal 2.1.2.1. lentelės receptūrą su 20 % skirtingai apdorotų kukurūzų priedu (ekstruduoti, IR spinduliais apdoroti, mikrobangų krosnyje apdoroti bei neapdoroti kukurūzai). Nustatytas bandelių savitasis tūris, minkštimo akytumas, kepinio savybė išlaikyti formą, atliktas juslinis vertinimas.

### 2.1.3 Kukurūzų produktų raugai

Raugams ruošti naudota 10 skirtingų bakterijų padermių: *Lactobacillus curvatus* 51, *Lactobacillus rossiae* GL14, *Leuconostoc mesenteroides* 242, *Lactobacillus uvarum* 245, *Lactobacillus crustorum* MW19, *Lactobacillus sanfranciscensis* W2, *Lactobacillus farraginis* 206, *Lactobacillus frumenti* M10, *Lactobacillus sanfranciscensis* MR29, *Lactobacillus sanfranciscensis* MW15.

Raugai ruošti 4 etapais, jų išvedimo parametrai pateikti 2.1.3.1. lentelėje.

2.1.3.1. lentelė. Raugų išvedimo parametrai

Žaliavos ir technologiniai parametrai	I etapas	II etapas	III etapas	IV etapas
PRB kultūra, g	1,1	-	-	-
Fermentuotas produktas, g	-	7,1	19,1	40,1
Kukurūzų žaliava, g	2	4	7	14
Vanduo, g	4	8	14	56
Bendra masė	7,1	19,1	40,1	110,1
Fermentacijos trukmė, h	4	20	24	24

### 2.1.4 Duonos kepiniai su kukurūzų produktais

Eksperimentas vykdytas, norint sužinoti kukurūzų produktų raugų kiekio bei kukurūzų apdorojimo būdo įtaką kukurūzų duonos kepinių savybėms bei jusliniams rodikliams. Buvo kepta

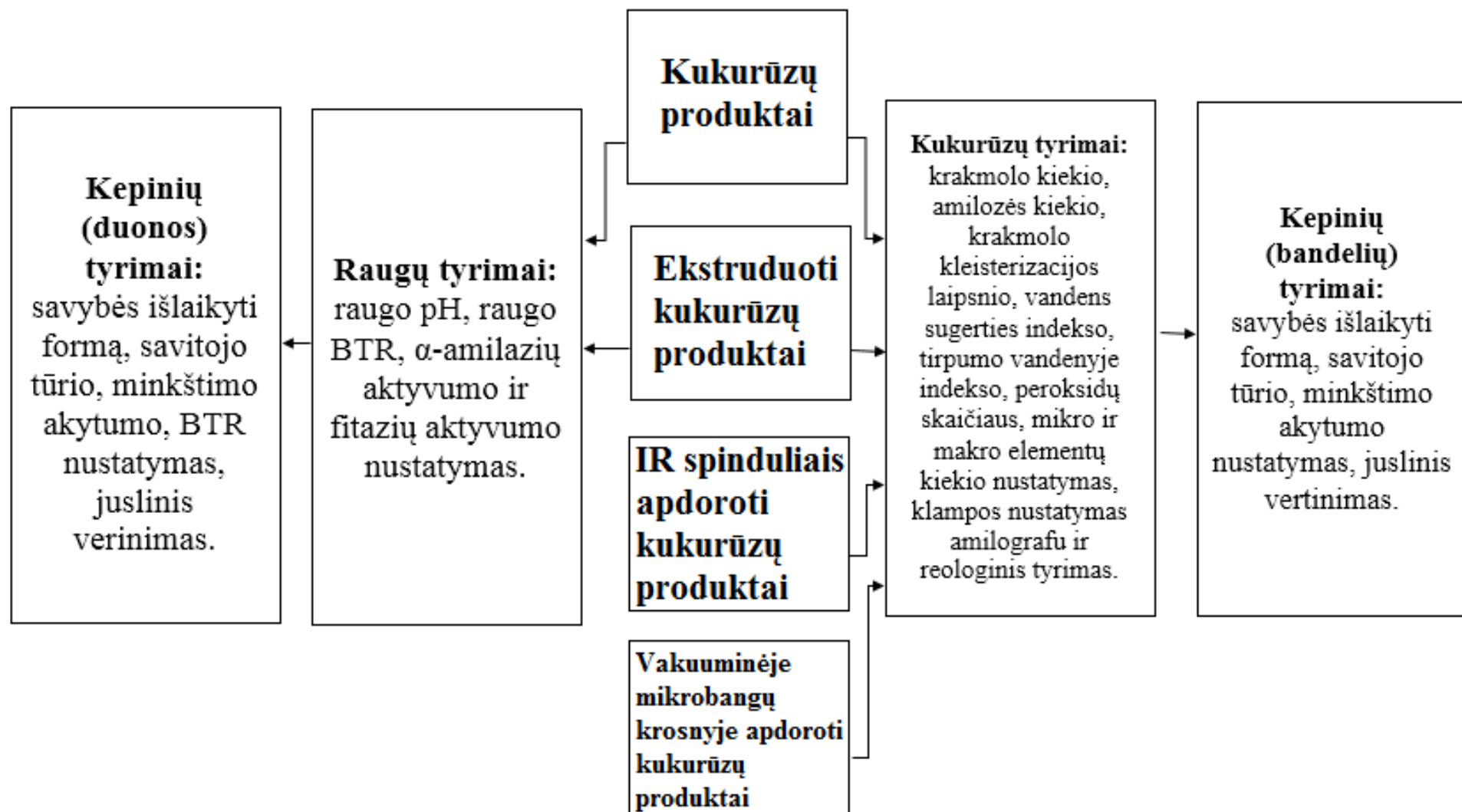
duona iš kvietinių 550 C miltų (UAB Kauno grūdai) su 20 % kukurūzų priedu. Kepimams naudoti neapdoroti bei ekstruduoti kukurūzų šalutiniai produktai, jie naudoti ir raugų gamyboje. 2.1.4.1. lentelėje pateiktos kukurūzų duonos kepinų su kukurūzų produktų raugais receptūros.

**2.1.4.1. lentelė.** Duonos kepinų su kukurūzų produktų raugais receptūros

<b>Komponentai</b>	<b>Kiekis, % nuo miltų masės</b>	
<b>Raugas</b>	10	20
<b>Druska</b>	1,5	1,5
<b>Presuotos mielės</b>	2	2
<b>Vanduo</b>	Pagal apskaičiavimus	

Visi komponentai sumaišyti maišyklėje, maišant 2 minutes lėtai ir 8 minutes greitai. Gauta tešla rauginta 45 minutes 35 °C temperatūroje. Po rauginimo formuoti 400 gramų duonos kepalai, kurie kildinti 45 min 35 °C temperatūroje. Duona kepta krosnyje CONDO (MIWE, Vokietija) 220 °C temperatūroje 25 minutes. Nustatytas duonos savitasis tūris, minkštimo aktyumas, kepinio savybė išlaikyti formą, atliktas juslinis vertinimas.

Tyrimų schema pateikta 2.2.1. paveiksle.



2.2.1. pav. Tyrimų schema

## 2.2 Tyrimų metodai

### Naudoti prietaisai

- Analitinės svarstyklės AJ (VIBRA, Japonija)
- Centrifuga Biocen 23 (Orto Alresa, Ispanija)
- Purtyklė KS 130 basic (IKA, Vokietija)
- Termostatas TC 400 (Salvis Lab, Vokietija)
- Mėgintuvėlių purtyklė Vibrofix VF1 (IKA, Vokietija)
- Vandens vonios W 270, WNB 7 (Memmert, Vokietija)
- Magnetinė maišyklė MSH 300 (Biosan, Latvija)
- pH – metras PB 11 (Sartorius, Vokietija)
- Spektrofotometras GENESYS 10 UV (Thermo scientific, JAV)
- Kaitinimo krosnis (Heraeus, Vokietija)
- Reologinis prietaisas (MATMUO, Lietuva)
- Kepimo krosnis CONDO (MIWE, Vokietija)
- Soksleto aparatas (Behr Labor – Technik, Vokietija)
- Amilografas (Brabender, JAV)

### 2.2.1 Kukurūzų žaliavos tyrimai

#### 2.2.1.1 *Krakmolo kiekio nustatymas*

Krakmolo kiekis buvo nustatytas naudojant Megazyme „Total starch (Amyloglucosidase /  $\alpha$  – Amylase method)“ testą, remiantis gamintojų rekomendacijomis. Tyrimo eiga: tiriamas mėginys sumaltas ir sijotas per 0,5 mm sietą. Į mėgintuvėlį įdėta 100 mg sijoto tiriamo produkto, įpilta 5 ml vandeninio etanolio tirpalo (80 %) ir šildyta vandens vonioje W 270 (Memmert, Vokietija) 80–85 °C, 5 min. Pašildžius sumaišyta mėgintuvėlių purtyklėje Vibrofix VF1 (IKA, Vokietija) ir dar pridėta 5 ml 80 % etanolio. Mišinys centrifuguotas centrifugoje Biocen 23 (Orto Alresa, Ispanija) 10 min (3000 aps/min), centrifugatas nupiltas. Nuosėdos užpiltos 10 ml 80 % etanolio ir sumaišytos purtyklėje. Centrifuguota 10 min (3000 aps/min), paskui atsargiai nupiltas centrifugatas.

Į kiekvieną mėgintuvėlį įpilta 2 ml 2M KOH, kuris sustabdo gumulėlių susidarymą ir ištirpina stabilų krakmolą. Maišyta magnetine maišykle MSH 300 (Biosan, Latvija) 20 min ledinio vandens vonioje. Praėjus 20 min, į kiekvieną mėgintuvėlį įpilta 8 ml 1,2 M natrio acetato buferio (pH 3,8), tada iškart pridėta 0,1 ml termostabilios  $\alpha$ -amilazės ir 0,1 ml AMG (amilogliukozidazės), gerai išmaišyta ir 30 min laikyta 50 °C vandens vonioje, kartais pamaišant. Kiekybiškai iš mėgintuvėlių tirpalai pernešti į 100 ml matavimo kolbas, praskiesti iki 100 ml vandeniu ir gerai sumaišyti. Paimta 10 ml tirpalo ir centrifuguota 10 min (3000 aps/min).

0,1 ml mėginio perkelta į mėgintuvėlius, pridėta po 3 ml GOPOD reagento (buferis, pH 7,4 – p-hidroksi benzoinė rūgštis ir natrio azidas 0,095 % svorio/tūryje) ir laikyta vandens vonioje 50 °C temperatūroje 20 min. D-gliukozės kontrolinis tirpalas ruoštas 0,1 ml D-gliukozės etaloninio tirpalo maišant su 3 ml GOPOD reagento. Tuščiasis mėginys ruoštas 0,1 ml vandens maišant su 3 ml GOPOD reagento. Spektrofotometru (GENESYS 10 UV, Thermo scientific, JAV) išmatuota 510 nm bangos ilgio spindulio sugertis gautais tirpalais. Krakmolo kiekis apskaičiuojamas pagal 2.2.1.1. formulę:

$$\text{Krakmolo, \%} = \Delta_A \cdot \frac{F}{W} \cdot FV \cdot 0,9 \quad (2.2.1.1. \text{ formulė})$$

čia:  $\Delta_A$  – tiriamo mėginio absorbcija,  
 $F$  – 100 / (sugertis gliukozės kontroliniu tirpalu),  
 $W$  – miltų kiekis (mg),  
 $FV$  – paimta tirpalo (ml).

### 2.2.1.2 Amilozės kiekio nustatymas

Amilozės kiekiui nustatyti ruošta suspensija, santykiu - 0,5 g tiriamo produkto : 6 ml vandens, purtyta purtyklėje KS 130 basic (IKA, Vokietija) 30 min 95 °C temperatūros vandens vonioje ir po to vėsinta 30 min 25 °C temperatūros vandens vonioje. Centrifuguota centrifugoje Biocen 23 (Orto Alresa, Ispanija) 10 min 25–35 °C temperatūroje (2000 aps/min). Po centrifugavimo į mėgintuvėlį nupilta 0,1 ml centrifugato, įpilta 5 ml 0,5 % trichloracto rūgšties ir 0,01 N jodo tirpalo. Sumaišyta ir palikta 30 min kambario temperatūroje. Spektrofotometru (GENESYS 10 UV, Thermo scientific, JAV) išmatuota 620 nm bangos ilgio šviesos spindulio sugertis gautais tirpalais. Amilozės kiekis apskaičiuotas kaip tiriamo mėginio ir standarto (grynos amilozės) santykis procentais.

### 2.2.1.3 Krakmolo kleisterizacijos laipsnio nustatymas

Krakmolo kleisterizacijos laipsnio nustatymui ruošti du mėginiai – tiriamasis ir standartas. Tiriamasis mėginys ruoštas norint nustatyti kleisterizuoto krakmolo kiekiui – į mėgintuvėlį įdėta po 1,0 g tiriamo produkto, įpilta 5 ml 0,25 M KOH tirpalo. Standartas ruoštas norint nustatyti bendrą krakmolo kiekį – į mėgintuvėlį įdėta po 1,0 g tiriamo produkto, įpilta 5 ml 0,7 M KOH tirpalo. Mišiniai purtyti mėgintuvėlių purtyklėje Vibrofix VF1 (IKA, Vokietija) apie 15 min ir po to centrifuguoti centrifugoje Biocen 23 (Orto Alresa, Ispanija) 15 min (3000 aps/min). Nusicentrifugavus paimta po 1 ml centrifugato ir neutralizuota 1 ml HCl, atitinkamai 0,25 M ir 0,7 M. Neutralizuoti tirpalai atskiesti 20 kartų distiliuotu vandeniu. Į 0,5 ml praskiestą krakmolo tirpalą įpilta 4,5 ml distiliuoto vandens ir 50 μl jodo tirpalo. Spektrofotometru (GENESYS 10 UV, Thermo scientific, JAV) išmatuota 578 nm bangos ilgio šviesos spindulio sugertis gautais tirpalais.

Kleisterizacijos laipsnis apskaičiuotas kaip tiriamo mėginio ir standarto santykis, išreikštas procentais.

#### **2.2.1.4 Vandens sugerties indekso nustatymas**

Vandens sugerties indekso nustatymui ruošta suspensija, santykiu – 1 g tiriamo produkto : 6 ml vandens. Suspensija purtyta purtyklėje KS 130 basic (IKA, Vokietija) 30 min 30 °C temperatūros vandens vonioje ir centrifuguota centrifugoje Biocen 23 (Orto Alresa, Ispanija) 20 min, 4 °C temperatūroje, esant 4000 aps/min. Vandens sugerties indeksas (VSI) apskaičiuotas (2.2.1.4.1. formulė) kaip likusios po centrifugavimo kietosios fazės masės ( $m_{nuosėdų}$ ) ir pradinės masės ( $m_{mėginio}$ ) santykis %. Kietosios fazės masė apskaičiuota pagal formulę 2.2.1.4.2.

$$VSI = \frac{m_{nuosėdų}}{m_{mėginio}} \times 100\% \quad (2.2.1.4.1. \text{ formulė})$$

$$m_{nuosėdų} = m_{nuosėdų \text{ po centrifugavimo}} - m_{mėgintuvėlio} \quad (2.2.1.4.2. \text{ formulė})$$

#### **2.2.1.5 Tirpumo vandenyje indekso nustatymas**

Tirpumo vandenyje indekso nustatymui ruošta suspensija, santykiu – 1 g tiriamo produkto : 6 ml vandens. Suspensija purtyta purtyklėje KS 130 basic (IKA, Vokietija) 30 min 30 °C temperatūros vandens vonioje ir centrifuguota centrifugoje Biocen 23 (Orto Alresa, Ispanija) 20 min, 4 °C temperatūroje, esant 4000 aps/min. Tirpumo vandenyje indeksas (TVI) apskaičiuotas kaip išdžiovinto centrifugato masės ( $m_{sauso \text{ centrifugato}}$ ) ir pradinės masės ( $m_{mėginio}$ ) santykis % (2.2.1.5.1. formulė). Išdžiovinto centrifugato masė apskaičiuota pagal formulę 2.2.1.5.2.

$$TVI = \frac{m_{sauso \text{ centrifugato}}}{m_{mėginio}} \times 100\% \quad (2.2.1.5.1. \text{ formulė})$$

$$m_{sauso \text{ centrifugato}} = m_{mėginio \text{ po džiovavimo}} - m_{mėgintuvėlio} \quad (2.2.1.5.2. \text{ formulė})$$

#### **2.2.1.6 Reologinis tyrimas**

Reologinis prietaisas naudotas gelių klampai nustatyti. Metodo veikimas remiasi analizatoriaus smigimu į analizuojamą mėginį ir smigimo atstumo matavimu. Prietaisas fiksuoja analizatoriaus smigimo į tiriamąjį mėginį vertes, kurios fiksuojamos prietaiso indikatoriuje ir šio prietaiso kompiuterinėje programoje. Mėginyje išmatuojamas atstumas  $h$ , kurį nueina laisvai krisdamas analizatorius per laiko vienetą, kuris matuojamas milisekundžių tikslumu. Tyrimui buvo ruošti 50 proc. tirštumo geliai – į stiklinėlę pasverta 45 g tiriamo produkto ir sumaišyta su 45 ml vandens. Mišinys šildytas 20 min, 90 °C temperatūros vandens vonioje, periodiškai maišant.

Susidarę geliai aušinti iki kambario temperatūros ir tirti reologiniu prietaisu (MATMUO, Lietuva). Vieno mėginio matavimas užtruko 180 sekundžių.

### 2.2.1.7 Kukurūzų produktų klampos nustatymas amilografu

Miltų klampos nustatymui naudotas amilografas (Brabender, JAV), tyrimas atliktas įmonėje „Kauno grūdai“. Tiriama žaliava sumalta malūnu ir sijota 710 μm, 500 μm, 200 μm sietais. Prieš atliekant tyrimą nustatytas žaliavos drėgnis – biuksai su dangteliais išdžiovinti kaitinimo krosnyje (Heraeus, Vokietija), 130 °C temperatūroje iki pastovios masės ir pasverti 0,001 g tikslumu. Į biuksus 0,001 g tikslumu pasverta apie 5 g tiriamos medžiagos ir kaitinta krosnyje 130 °C temperatūroje 90 min iki pastovios masės. Mėginiai biuksuose pasverti ir apskaičiuotas tiriamos žaliavos drėgnis (2.2.1.7. formulė) [106].

$$w = \left(1 - \frac{m_1}{m_0}\right) \cdot 100 \% \quad (2.2.1.7. \text{ formulė})$$

čia:

$m_0$  – ėminio masė, g

$m_1$  – išdžiovinto ėminio masė, g

Skirtingos žaliavos drėgniai pateikti 2.2.1.7. lentelėje.

2.2.1.7. lentelė. Skirtingos žaliavos drėgniai

Žaliava	Kontrolė I-oji frakcija	Kontrolė VI-oji frakcija	Ekstruduoti I-oji frakcija	Ekstruduoti VI-oji frakcija	IR I-oji frakcija	IR VI-oji frakcija
Drėgnis, %	9,02	8,54	5,78	5,39	6,60	6,61

Miltų klampos nustatymui amilografu naudota apie 80 g tiriamos žaliavos, ėminio dalies masė koreguota taip, kad atitiktų 80,0 g malto produkto, kurio drėgnis 14,0 %. Tyrimui atlikti ruošta suspensija (ruošimas turi būti labai greitas) – 450 ml biuretė iki nulinės žymės pripildyta vandens, į stiklinę subertas reikiamas kiekis tiriamos žaliavos ir įpilta apie 100 ml vandens iš biuretės. Maišyta apie 20 s, kol gauta vientisa suspensija. Toliau pamažu lašintas vanduo iš biuretės, suspensiją maišant mentele, kol biuretėje liko apie 100 ml vandens. Suspensija supilta į amilografo indą, o likęs vanduo naudotas stiklinėlei praplauti ir taip pat supiltas į indą. Įjungtas amilografas, kuris kompiuteryje nubraižė tiriamo mėginio amilogramą. Iš gautos amilogramos nustatyta didžiausia amilografinė klampa ir didžiausios klampos temperatūra.

### 2.2.1.8 Peroksidų skaičiaus nustatymas

Peroksidų skaičius parodo tikrąjį peroksidų kiekį riebaluose. Peroksidų skaičiui nustatyti buvo naudojamas jodometrinis metodas. Jo esmė – rūgščioje aplinkoje esant peroksidų nuo kalio jodido



atskyla laisvas jodas, kurio kiekis prilyginamas peroksidų kiekiui. Išsiskyres jodas titruojamas etaloniniu titruojamuoju natrio tiosulfato tirpalu.

Tyrimui buvo naudoti riebalai, gauti iš tiriamosios žaliavos vykdant Soksleto ekstrakciją Soksleto aparatu (Behr Labor – Technik, Vokietija). Naudotas tirpiklis – heksanas, ekstrakcija vykdyta apie 4 valandas. Likęs tirpiklis nugarintas rotaciniame garintuve. Į kolbą su šlifuotu kamščiu pasverta 2,5 g riebalų 0,001 g tikslumu, pripilta 30 ml ledinės acto rūgšties ir chloroformo mišinio, santykiu 3:2 ir 1 ml sočiojo KI tirpalo. Kolba užkimšta kamčiu ir purtyta 1 min. Į kolbą įpilta 30 ml vandens, ir 5 lašai indikatoriaus (1 % krakmolo tirpalo). Išsiskyres jodas titruotas 0,01 N Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tirpalu iki mėlynos spalvos išnykimo. Lygiagrečiai atliktas kontrolinis bandymas be riebalų. Peroksidų skaičius apskaičiuotas pagal 2.2.1.8. formulę [107]:

$$PS = \frac{(V-V_1) \cdot N \cdot 1000}{m} \text{ mekv/kg} \quad (2.2.1.8. \text{ formulė})$$

čia:

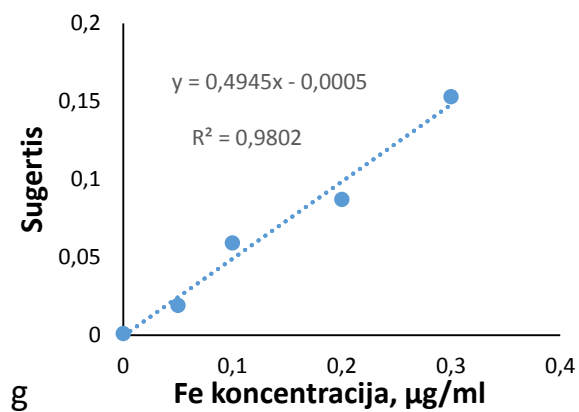
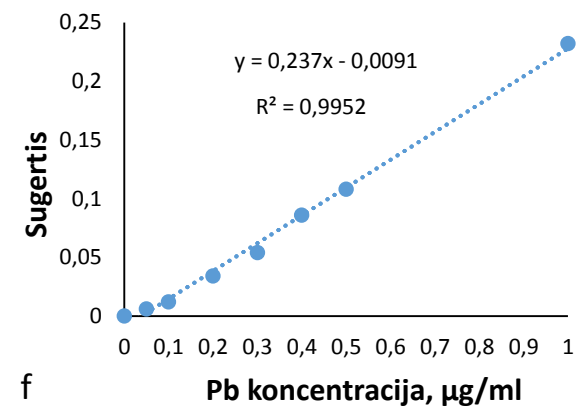
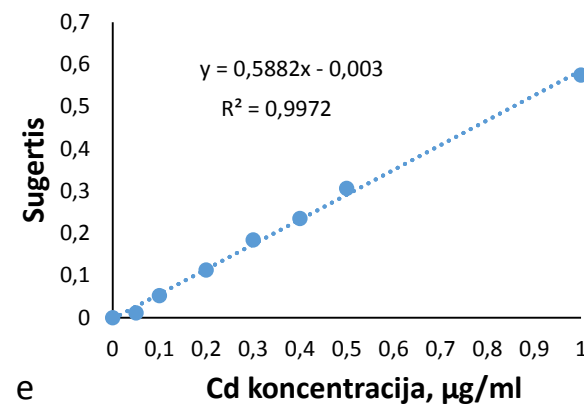
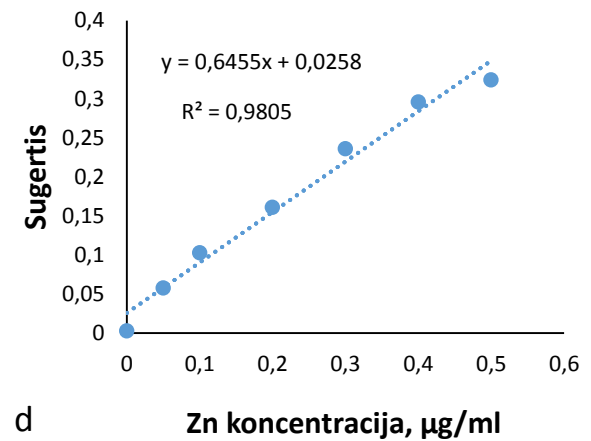
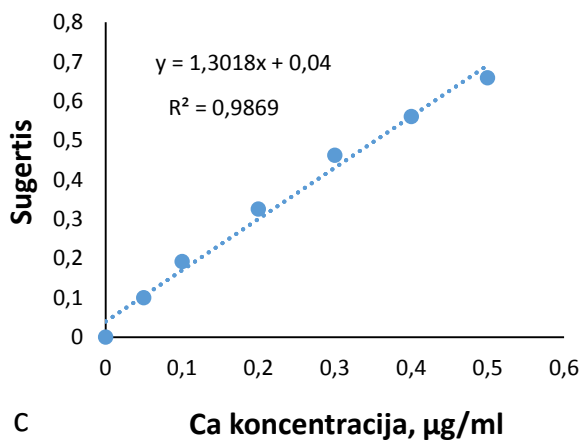
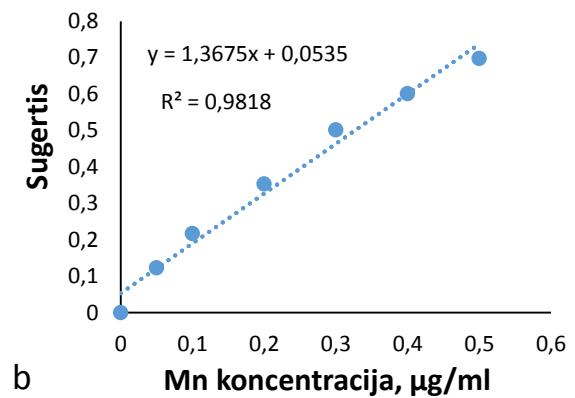
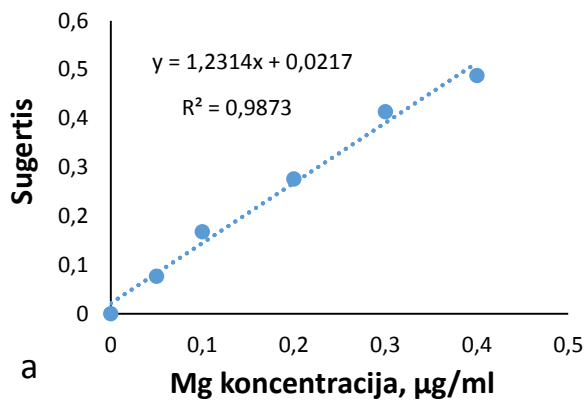
$V$  ir  $V_1$  natrio tiosulfato tirpalo, sunaudoto atitinkamai tiriamajam ir kontroliniam bandiniams nutitruoti, kiekis, ml;

$N$  – natrio tiosulfato tirpalo koncentracija;

$m$  – bandinio masė, g.

#### **2.2.1.9 Makro ir mikro elementų kiekio nustatymas**

Tiriamuose kukurūzų mėginiuose buvo ieškota 7 elementų: Mg, Mn, Zn, Ca, Fe, Cd ir Pb. Kukurūzų mėginiai ruošti juos apanglinant, o paskui mufelinėje krosnyje išdeginant iki pelenų. Tam naudoti švarūs tigliai, kurie išdeginti mufelinėje krosnyje iki pastovios masės, norint pašalinti iš jų drėgmę. Į tiglius pasverta apie 5 g tiriamos medžiagos 0,0001 g tikslumu. Bandiniai apdeginti traukos spintoje ant kaitinimo plytelės, kol nebesiskyrė dūmai. Po apanglinimo bandiniai perkelti į mufelinę krosnį, kur 600 °C temperatūroje kaitinti iki pastovios masės apie parą laiko. Gauti pelenų gumulėliai sutrinti lazdele ir ištirpinti 10 ml koncentruotoje HCl rūgštyje. Tirpalas virtas ir išgarintas beveik iki sausumo ant elektrinės plytelės. Po išgarinimo, nuosėdos vėl ištirpintos 20 ml 2 N HCl. Tirpalas filtruotas pro filtro popierių į 100 ml matavimo kolbą, praplaunant popierių ir nuosėdas distiliuotu vandeniu. Tirpalas praskiestas iki 100 ml ir sumaišytas. Ruošti 1 µg/ml, 0,5 µg/ml, 0,4 µg/ml, 0,3 µg/ml, 0,2 µg/ml, 0,1 µg/ml ir 0,05 µg/ml koncentracijų tirpalai kalibracinėms tiesėms sudaryti. Tirpalų kalibracinės tiesės pateiktos 2.2.1.9. paveiksle. Elementų kiekiai buvo nustatyti atominė absorbcine bei atominė emisine analizėmis 100 gramų mėginio (spektrofotometras Varian SpectrAA, JAV).



2.2.1.9. pav. Kalibracinės mineralinių elementų tiesės: Mg (a), Mn (b), Ca (c), Zn (d), Cd (e), Pb (f), Fe (g)

## 2.2.2 Raugų tyrimai

### 2.2.2.1 Raugo pH pokyčiai jo gamybos metu

Raugo pH vertės gamybos metu buvo nustatytos naudojant pH – metrą PB 11 (Sartorius, Vokietija).

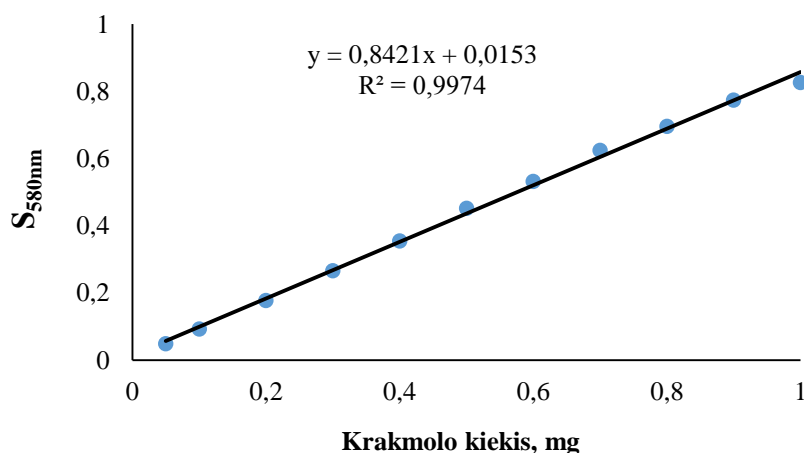
### 2.2.2.2 Raugo BTR pokyčiai jo gamybos metu

Raugo BTR vertės gamybos metu nustatytos pagal 2.2.3.4. skyrelyje pateiktą metodą.

### 2.2.2.3 $\alpha$ -amilazių aktyvumas

Veikiant amilazėms, vyksta krakmolo hidrolizė iki dekstrinų, maltozės ir gliukozės.  $\alpha$  – amilazių aktyvumas nustatytas naudojant krakmolo tirpalą kaip substratą. Reakcija vykdyta su jodo tirpalu, kuris nudažo krakmolą tamsiai mėlyna spalva. Mažėjant krakmolo koncentracijai, tirpalas šviesėja. Mėginių spalvos intensyvumas išmatuotas spektrofotometru, gautos sugerties vertės tiriamais tirpalais lygintos su standartine krakmolo tiese ir amilazių aktyvumas išreikštas aktyvumo vienetais. Vienas fermento aktyvumo vienetas gali katalizuoti 1 mg tirpaus krakmolo hidrolizę iki dekstrinų per 1 min 30 °C temperatūroje esant pH vertei 7,0.

Iš pradžių buvo sudaryta standartinė krakmolo tiesė. Jai sudaryti ruošti įvairių koncentracijų krakmolo tirpalai iš 1,0 mg/ml krakmolo tirpalo maišant su fosfatinu buferiu nurodytais kiekiais. Tada į visus mėgintuvėlius supilta po 0,5 ml 1 M HCl ir gerai sumaišyta, pridėta po 2,5 ml jodo tirpalo bei 5 ml distiliuoto vandens. Spektrofotometru (GENESYS 10 UV, Thermo scientific, JAV) išmatuota 580 nm bangos ilgio spindulio sugertis tiriamais tirpalais Excel programa sudaryta standartinė krakmolo tiesė – gautų sugerties verčių priklausomybė nuo krakmolo koncentracijos tirpale, taip pat gauta tiesės lygtis ir determinacijos koeficientas. Standartinė krakmolo tiesė pateikta 2.2.2.3. paveiksle.



2.2.2.3. pav. Standartinė krakmolo tiesė

Nustatytas  $\alpha$ -amilazės aktyvumas 30 °C temperatūroje. Į mėgintuvėlį įpilta 1 ml fermento tirpalo ir laikyta 10 min 30 °C temperatūros vandens vonioje WNB 7 (Memmert, Vokietija). Į

mėgintuvėlį su fermento tirpalu įpilta 1 ml substrato (1,0 mg/ml krakmolo tirpalo), į antrąjį mėgintuvėlį įpilta 1 ml fosfatinio buferio ir 1 ml substrato (kontrolė), o į trečiąjį mėgintuvėlį įpilta 1 ml fosfatinio buferio ir 1 ml fermento tirpalo (tuščias mėginys), gerai sumaišyta mėgintuvėlių purtyklėje Vibrofix VF1 (IKA, Vokietija) ir laikyta 30 °C temperatūros vandens vonioje 30 min.

Į kiekvieną mėgintuvėlį įpilta po 0,5 ml 1 M HCl reakcijai sustabdyti ir gerai sumaišyta. Toliau į kiekvieną mėgintuvėlį įpilta po 2,5 ml jodo tirpalo ir 5 ml distiliuoto vandens. Spektrofotometru (GENESYS 10 UV, Thermo scientific, JAV) išmatuota 580 nm bangos ilgio spindulio sugertis tiriamais tirpalais. Fermentų aktyvumas apskaičiuotas pagal 2.2.2.3. formulę [108]:

$$AV/ml = \frac{KEV \cdot 2,5 \cdot PF}{1 \cdot 30 \cdot 2,5_{KM}} \quad (2.2.2.3. \text{ formulė})$$

čia:

*KEV* – krakmolo ekvivalento vertė (mg), gauta iš standartinės krakmolo tiesės, mg/ml;

2,5 – bendras reakcijos tūris, ml;

*PF* – praskiedimo faktorius;

30 – fermentinės reakcijos trukmė, min;

*l* – fermento tūris, naudotas matavimams, ml;

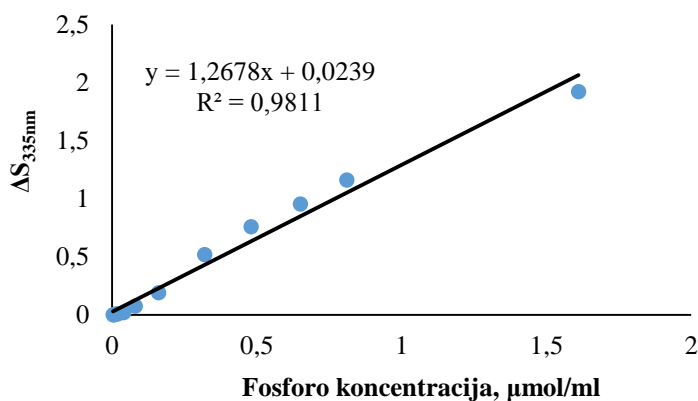
2,5<sub>KM</sub> – tūris, naudotas kolorimetriniame nustatyme, ml.

#### **2.2.2.4 Nustatyta (I) kukurūzų žaliavos ir (II) raugų, ruošų iš kukurūzų produktų ir pieno rūgšties bakterijų, amilaziniai aktyvumai. Fitazių aktyvumo nustatymas**

Veikiant fitazėms, vyksta fitatų hidrolizė, kurios metu atsiskiria neorganinis fosforas. Fitazių aktyvumas nustatytas naudojant kalio fitato druską kaip substratą. Esant H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, neorganinis fosfatas su amonio molibdatu sudaro amonio fosfomolibdato kompleksą (jo koncentracija tiesiogiai proporcinga neorganinių fosfatų koncentracijai). Mėginių spalvos intensyvumas išmatuotas spektrofotometru, gautos sugerties vertės lygintos su standartine fosforo tiese ir fitazių aktyvumas išreikštas fermento aktyvumo vienetais. Vienas fermento aktyvumo vienetas reikalingas išlaisvinti 1 μmol neorganinio fosforo iš 3 mM kalio fitato druskos per minutę 30 °C temperatūroje, esant terpės pH vertei 5,5.

Iš pradžių buvo sudaryta kalibracinė fosforo tiesė. Jai sudaryti ruošti įvairių koncentracijų (0 – 3,23 μmol/ml) K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> tirpalai iš 0,1 mg/ml standartinio fosforo tirpalo maišant su natrio acetato buferiu nurodytais kiekiais. Mėgintuvėlių turinys gerai sumaišytas, iš kiekvieno mėgintuvėlio paimta po 0,2 ml mišinio ir sumaišyta su 1,6 ml spalvinės reakcijos reagento. Praėjus 20 min, spektrofotometru (GENESYS 10 UV, Thermo scientific, JAV) išmatuota 335 nm ilgio UV spindulių sugertis tiriamais tirpalais. Excel programa sudaryta kalibracinė fosforo tiesė – gautų

sugerties tiriamais tirpalais verčių priklausomybė nuo fosforo koncentracijos tirpale, taip pat gauta tiesės lygtis ir determinacijos koeficientas. Standartinės fosforo tiesė pateikta 2.2.2.4. paveiksle.



2.2.2.4. pav. Standartinė fosforo tiesė

Fitazių aktyvumas nustatytas 30 °C temperatūroje. Į mėgintuvėlį įpilta 0,8 ml natrio acetato buferio, sudėtyje turinčio 3mM kalio fitato, o į kitus du mėgintuvėlius įpilta 0,8 ml natrio acetato buferio be fitatų. Mėgintuvėliai išlaikyti 5 min 30 °C temperatūros vandens vonioje WNB 7 (Memmert, Vokietija). Į pirmą mėgintuvėlį įpilta 0,2 ml fermento tirpalo, į antrą mėgintuvėlį įpilta 0,2 ml fermento tirpalo (kontrolė), į trečią mėgintuvėlį įpilta 0,2 ml natrio acetato buferio (tuščias mėginys) ir mėgintuvėliai laikyti 30 min 30 °C temperatūros vandens vonioje. Po to reakcija sustabdyta į kiekvieną mėgintuvėlį įpylus 1 ml 10 % trichloracto rūgšties tirpalo. Iš kiekvieno mėgintuvėlio paimta po 0,2 ml mišinio ir sumaišyta su 1,6 ml spalvinės reakcijos reagentu. Praėjus 20 min, spektrofotometru išmatuota 335 nm bangos ilgio UV spindusių sugertis tiriamais tirpalais. Fitazinis aktyvumas nustatytas (I) kukurūzų žaliavos ir (II) raugų, ruoštų iš kukurūzų produktų ir pieno rūgšties bakterijų. Fermentų aktyvumas apskaičiuotas pagal 2.2.2.4. formulę [109]:

$$AV/ml = \frac{\Delta c_p}{l \cdot t} \cdot \frac{V_{reakcijos}}{V_{fermento}} \quad (2.2.2.4. formulė)$$

čia:

$\Delta c_p$  – išmatuotas fosforo koncentracijos didžiausias pokytis laike, µmol;

$t$  – reakcijos laikas, min;

$V_{reakcijos}$  – reakcijos mišinio kiekis (2 ml);

$V_{fermento}$  – reakcijai naudotas fermento tirpalo kiekis (0,2 ml);

$l$  – spindulio kelias.

## 2.2.3 Kepinių tyrimai

### 2.2.3.1 Kepinio savybė išlaikyti formą

Kepinio savybė išlaikyti formą apibūdinama kaip kepinio aukščio  $h$  ir kepinio diametro  $d$  santykis, išreikštas milimetrais. Kepinys dalintas į dvi lygias dalis ir pamatuotas didžiausias nuokrypis aukščio ir diametro vietose.

### 2.2.3.2 Kepinių savitasis tūris

Kepinių tūriui nustatyti naudotas indas su sorų kruopomis, kurios įdėjus mėginį, yra išstumiamos. Išstumtas sorų kruopų kiekis atitinka tiriamo mėginio tūrį. Savitasis kepinio tūris nustatytas apskaičiavus jo tūrio ir masės santykį. Kepinys pasvertas 0,1 g tikslumu ir apskaičiuotas jo savitasis tūris [110].

### 2.2.3.3 Kepinių minkštimo akytumas

Kepinio akytumas – tai minkštimo porų užimamo tūrio santykis su viso kepinio minkštimo tūriu, išreikštas %. Akytumui nustatyti naudotas Žuravliovo prietaisas, kuriuo išpjautas cilindrinis kepinio gabalėlis, pasirinkus akytą kepinio vietą toliau nuo plutos. Gauta 27 cm<sup>3</sup> kepinio išpjova, kuri sverta 0,1 g tikslumu. Tyrimui išpjauti 3 kepinio mėginiai. Kepinio minkštimo akytumas apskaičiuojamas pagal 2.2.3.3. formulę [111]:

$$X = \frac{V - \frac{G}{d}}{V} * 100\% \quad (2.2.3.3. \text{ formulė})$$

čia:

$V$  – bendras išpjovų tūris, cm<sup>3</sup>;

$G$  – bendra išpjovų masė, g;

$d$  – beporio minkštimo santykinis tankis, kuris priimamas: kvietinių miltų 550-1050 kepiniai – 1,31.

### 2.2.3.4 Bendras titruojamasis rūgštingumas

Kepinio minkštimo rūgštingumas išreiškiamas Neimano laipsniais (°N), t. y. 1 N šarmų tirpalo ml skaičiumi, reikalingu nutitruoti rūgštis, esančias 100 g minkštimo. Tyrimui atsverta 5±0,1 g susmulkinto tiriamo duonos mėginio ir porcelianiniame grūstuvėlyje homogenizuota įpylus 45 ml distiliuoto kambario temperatūros vandens. Titruota 0,1 N NaOH tirpalu, naudojant indikatorių fenolftaleiną (1 %, 3-5 lašai). Titruota, kol atsiranda rausva spalva, nepranykstanti 1 min. Kepinio minkštimo rūgštingumas Neimano laipsniais (°N) apskaičiuojamas pagal 2.2.3.4. formulę [112]:

$$X_p = 2 \cdot a \cdot k \quad (2.2.3.4. \text{ formulė})$$

čia:

$a$  – 0,1 N NaOH tirpalo kiekis, sunaudotas mėginio titravimui, ml;

$k$  – NaOH titro pataisos koeficientas.

#### **2.2.3.5 Juslinis vertinimas**

Juslinė kepinių analizė buvo atlikta dalyvaujant 10 vertintojų, kurie prieš vertinimą buvo supažindinti su vertinimo taisyklėmis. Analizė buvo atliekama praėjus 24 valandoms po kepimo. Kepiniai pjaustyti apie 1,5 cm kvadratėliais, koduoti 3 atsitiktinių skaičių kombinacijomis ir pateikti vertinimui. Vertintas produktų juslinių savybių intensyvumas, juslinių savybių priimtumas bei bendras priimtumas [113].

#### **2.2.3.6 Matematinė statistinė duomenų analizė**

Atlikti trys tyrimų pakartojimai. Gautos rezultatų vidutinės vertės ir standartiniai nuokrypiai apskaičiuoti, naudojantis MS Excel programa.

Matematinė statistinė tyrimo duomenų analizė atlikta naudojant Graphpad Prism 7 programą. Analizė atlikta su amilozės kiekio, pažeisto krakmolo kiekio, tirpumo vandenyje indekso, vandens sugerties indekso, krakmolo kleisterizacijos laipsnio duomenimis. Įvertintas skirtumų tarp mėginių reikšmingumas pagal Tukey testą (jei vertė viršija 5 %, konstatuojamas reikšmingas skirtumas).

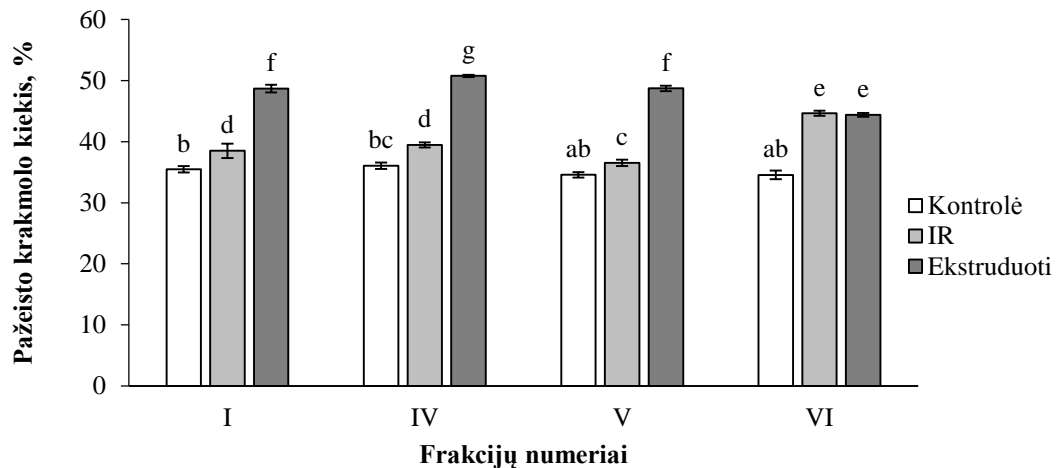
### **3 Rezultatai ir jų aptarimas**

#### **3.1 Kukurūzų grūdų perdirbimo šalutinių produktų technologinės bei funkcinės savybės**

Vertinant ekstruzija ir IR spinduliais apdorotas kukurūzų žaliavos ir atskirų jos frakcijų panaudojimo galimybes kepinių gamyboje, buvo atliktas kukurūzų žaliavos technologinių bei funkcinės savybių įvertinimas. Nustatyta kukurūzų produktuose pažeisto krakmolo kiekis, amilozės kiekis, krakmolo kleisterizacijos laipsnis, vandens sugerties indeksas, tirpumo vandenyje indeksas, peroksidų skaičius laikymo metu, kukurūzų produktų kleisterių klampa, amilogramos, o taip pat makro ir mikroelementų kiekis neapdorotose kukurūzų žaliavos frakcijose.

##### **3.1.1 Apdorojimo būdo įtaka pažeisto krakmolo kiekiui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose**

Pažeisto krakmolo kiekio skirtumai tarp I-VI-tos neapdorotų, ekstruduotų ir IR spinduliais apdorotų kukurūzų žaliavos frakcijų pateikti 3.1.1. paveiksle.



3.1.1. pav. Pažeisto krakmolo kiekis (%) skirtingai apdorotų kukurūzų žaliavos frakcijose

Nustatytas pažeisto krakmolo kiekis neapdorotų kukurūzų žaliavoje buvo nuo 34,57 % iki 36,07 %. Didelių pokyčių skirtingose frakcijose nepastebėta. Pažeisto krakmolo kiekis infraraudonaisiais spinduliais apdorotų kukurūzų žaliavose buvo nuo 36,54 % iki 44,64 %. Daugiausia IR spinduliais apdorotoje žaliavoje pažeisto krakmolo buvo VI-oje frakcijoje (44,64 %), o mažiausia pažeisto krakmolo V-oje frakcijoje (36,54 %). Daugiausia ekstrudotoje žaliavoje pažeisto krakmolo nustatyta II-oje frakcijoje (50,79 %), o mažiausia pažeisto krakmolo VI-oje frakcijoje (44,39 %). Vertinant apdorojimo įtaką kukurūzų pažeisto krakmolo kiekiui, pastebėta, jog didžiausi kiekiai nustatyti ekstrudotoje žaliavoje, IR spinduliais apdorotoje žaliavoje pažeisto krakmolo kiekis buvo mažesnis, o mažiausi pažeisto krakmolo kiekiai nustatyti neapdorotuose kukurūzuose. Gauti tyrimų rezultatai patvirtina, kad kukurūzų žaliavos apdorojimas ekstruzija ir IR spinduliais padidina pažeisto krakmolo kiekį (atitinkamai vidutiniškai 36,83 ir 13,19 %).

Gauti rezultatai patvirtina, kad po kukurūzų žaliavos apdorojimo IR spinduliais ir ekstruzija pažeisto krakmolo kiekis padidėja, ypač po ekstruzijos. Literatūros duomenimis, krakmolingų maisto produktų ekstruzija sukelia kleisterizaciją, dalinį arba visišką kristalinės struktūros sunaikinimą ir molekulinį krakmolo polimerų skilimą, taip pat baltymų denatūraciją, kompleksų formavimą tarp krakmolo ir lipidų bei tarp baltymų ir lipidų [115, 116, 117, 118]. Eliasson nustatė, kad ekstruzija gali sukelti makromolekulinę degradaciją, tačiau neturi didelės įtakos krakmolo kiekiui [119]. Be to, literatūroje yra duomenų, kad žema ekstruzijos temperatūra ir produkto drėgmė žymiai sumažino vidutinę kviečių miltų krakmolo molekulinę masę [120].

Intensyvus IR švitinimas gali būti naudojamas siekiant sumažinti drėgmės kiekį bei sunaikinti antimonybines medžiagas pupelėse ir grūduose. Apdorojant IR spinduliais, krakmolo virškinamumas ir energinė grūdų vertė nepakito, tačiau suprastėjo baltymų kokybė [121]. Šildymas IR spinduliais nepakeitė miežių cheminių sudėtinių dalių kiekių, tokių kaip krakmolas, baltymai, maistinės

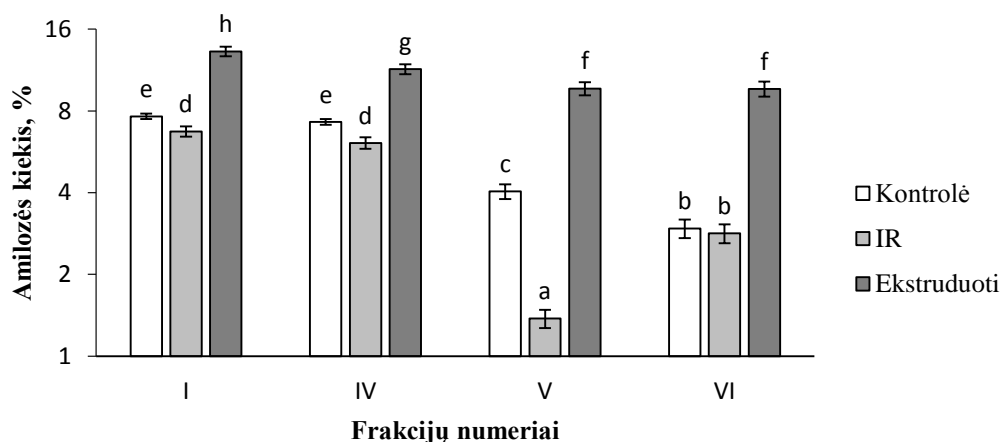


skaidulos, pelenai ir riebalai [122]. Jokio poveikio krakmolo kiekiui apdorojant pupeles bei pistacijas IR spinduliais nenustatyta [123, 124].

### 3.1.2 Apdoravimo būdo įtaka amilozės kiekiui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose

Amilozės kiekio skirtumai tarp I - VI neapdorotų, ekstruduočių ir IR spinduliais apdorotų kukurūzų žaliavos frakcijų pateikti 3.1.2. paveiksle.

Iš gautų rezultatų matyti, kad amilozės kiekis ir neapdorotuose, ir ekstruduotuose, ir IR spinduliais apdorotuose kukurūzuose mažėja nuo I-os frakcijos iki VI-os frakcijos. Didžiausias amilozės kiekis (%) nustatytas ekstruduotų kukurūzų frakcijose (13,25–9,65 %), antrą vietą pagal amilozės kiekį užima neapdoroti kukurūzai (7,64–2,95 %), o mažiausias amilozės kiekis nustatytas IR spinduliais apdorotų kukurūzų frakcijose (6,72–1,38 %). Po ekstruzijos amilozės kiekis kukurūzų žaliavoje (visos frakcijose) padidėjo vidutiniškai 123,96 %, tuo tarpu po apdoravimo IR spinduliuote sumažėjo vidutiniškai 24,61 %.



3.1.2. pav. Amilozės kiekis (%) skirtingai apdorotų kukurūzų žaliavos frakcijose

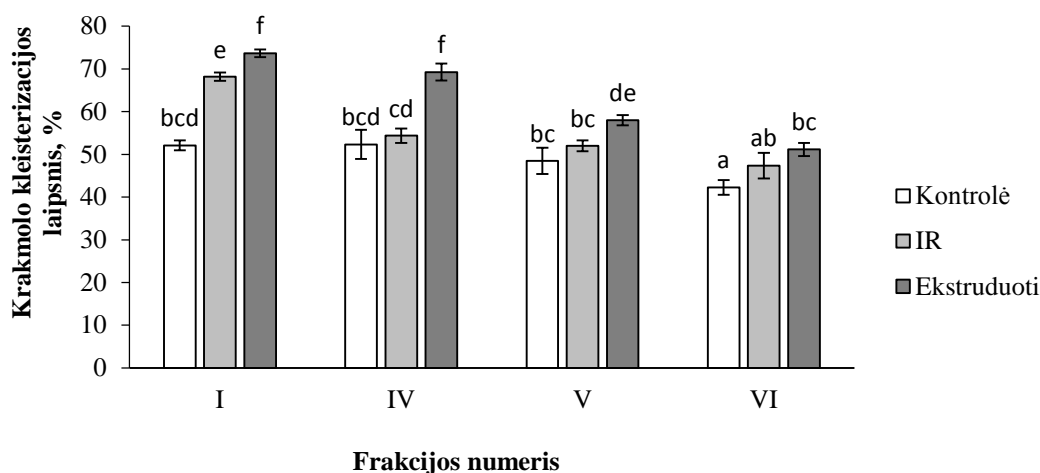
Literatūros duomenimis amilozės kiekio pokyčiams įtakos turi produkto drėgmė ir ekstrudavimo greitis. Esant didesniam miltų drėgmės kiekiui (20-50 %) bei sraigto greičiams (200-400 aps/min), amilozės kiekis ekstruduotuose žalių bananų miltų mėginiuose didėjo, lyginant su neapdorotais žalių bananų miltais. Didžiausias amilozės kiekis ekstruduotuose miltuose nustatytas esant 50 % produkto drėgmei bei sraigto greičiui 200 aps/min, o mažiausias amilozės kiekis – 20 % produkto drėgmės ir 400 aps/min. Manoma, jog didesni amilozės kiekiai nustatyti esant mažesniai sraigto greičiui susiję su ilgesniu medžiagos buvimu ekstruderyje, todėl ir šlyties jėgos veikia ilgiau bei išlaisvina didesnę krakmolo kiekį, tuo pačiu didėjant ir amilozės kiekiui. Tačiau ekstruduotų burnočių miltų tyrimai neparodė reikšmingos ekstruzijos įtakos amilozės kiekiui. Tokie rezultatai gauti galbūt dėl to, jog burnočiuose amilozės kiekiai labai maži [125].

Duomenų apie IR spindulių poveikį amilozės kiekiui literatūros šaltiniuose nerasta, tačiau yra duomenų apie mikronizacijos poveikį amilozės kiekiui. Mikronizacija yra apdorojimas specifine šiluma, kurio metu grūdų sluoksnis ant konvejerio juostos nuolat švitinamas keraminiais radiatoriais, kurių spindulių bangos ilgis artimas IR spinduliams (1,8-3,4 mcm) [126]. Kukurūzų miltuose, kurie buvo mikronizuoti, pastebėtas amilozės kiekio sumažėjimas lyginant su nemikronizuotais kukurūzų miltais [127]. Tiriant mikronizacijos poveikį amilozės kiekiui pupelėse, taip pat nustatytas amilozės kiekio mažėjimas [128].

Raudonos ir baltos bulvės, paveiktos  $\gamma$  – spinduliais (0, 5, 10 ir 20 kGy) ir stebėta įtaka amilozės kiekiui jose. Rezultatai rodo, jog didėjant apšvitos dozei, amilozės kiekis mažėjo ir raudonose, ir baltose bulvėse [129]. Žymus amilozės kiekio sumažėjimas didinant apšvitos dozę pastebėtas ir ryžiuose [130]. Bananų krakmolo, paveikto 0-25 kGy apšvitos dozėmis tyrimai taip pat rodo amilozės kiekio mažėjimą, didinant apšvitos dozę [131].

### **3.1.3 Apdorojimo būdo įtaka krakmolo kleisterizacijos laipsniui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose**

Nustatyti krakmolo kleisterizacijos laipsnio skirtumai tarp I–VI-tos frakcijų neapdorotų (kontrolė), ekstrudotų ir IR spinduliais apdorotų kukurūzų žaliavos frakcijų. Jų skirtumai pateikti 3.1.3. paveiksle. Vertinant skirtingų frakcijų, o taip pat ir kukurūzų apdorojimo būdo įtaką krakmolo kleisterizacijos laipsniui, nustatyta, kad tiek frakcija, tiek žaliavos apdorojimo būdas turėjo įtakos krakmolo kleisterizacijos laipsniui. Kleisterizacijos laipsnis palaiipsniui mažėjo nuo I-os iki VI-tos frakcijos, tiek neapdorotuose, ekstrudotuose, tiek ir IR spinduliais apdorotuose kukurūzuose. Nustatyta, kad neapdorotuose kukurūzų produktuose krakmolo kleisterizacijos laipsnis buvo priklausomai nuo frakcijos nuo 42,28 iki 52,33 %, tuo tarpu po apdorojimo IR spinduliais ir ekstruzija kukurūzų produktų kleisterizacijos laipsnis padidėjo atitinkamai nuo 3,89 iki 30,80 % ir nuo 19,63 iki 41,34 %.



3.1.3. pav. Krakmolo kleisterizacijos laipsnis (%) skirtingai apdorotos kukurūzų žaliavos frakcijose

Krakmolo kleisterizacija – tai gryno krakmolo konversija į pagaminą ir virškinamą medžiagą, vandens ir temperatūros poveikyje. Tai vienas svarbiausių reiškinių, kurie vyksta ekstruzijos metu apdorojant krakmolo turintį maistą. Vanduo yra absorbuojamas ir jungiasi prie krakmolo molekulių, todėl keičiasi krakmolo granulių struktūra [132, 133]. Krakmolo kleisterizacijos pokyčiai laikomi vienu iš teigiamų aukštos temperatūros, trumpo poveikio ekstruzijos proceso poveikių – krakmolo kleisterizacijos laipsnis didėja [134]. Krakmolo kleisterizacijos laipsniui nemažą įtaką daro ekstruzijos parametrai – temperatūra, medžiagos drėgmė ir sraigto greitis bei jo forma. Literatūros duomenimis didinant kukurūzų drėgmę ir ekstruzijos proceso temperatūrą, smarkiai didėja ir krakmolo kleisterizacijos laipsnis [135, 136]. Ilo su bendraautorais nustatė, kad krakmolo kleisterizacijos laipsnis ekstruduočių kukurūzų kruopose sumažėjo, didėjant produkto drėgmei, bet padidėjo didėjant produkto temperatūrai [137]. Kiti mokslininkai tyrė ekstruzijos temperatūros įtaką nustatė, kad ekstruzijos temperatūrą padidinus nuo 115 °C iki 164 °C, kleisterizacijos laipsnis padidėjo nuo 73,6 % iki 98,4 % „vaškiniuose“ kukurūzuose (1 % amilozės), o paprastuose kukurūzuose (30 % amilozės) jis padidėjo nuo 40 % iki 55,2 % [138]. Panašūs rezultatai gauti ir didinant ekstruzijos temperatūrą nuo 81 °C iki 149 °C bei esant dideliame drėgmės kiekiui (nuo 34 % iki 47 %) - krakmolo kleisterizacijos laipsnis taip pat didėja [139]. Krakmolo kleisterizacijos laipsnis šiek tiek sumažėjo didinant drėgmės kiekį (18–27 %) ir esant žemai ekstruzijos temperatūrai (65 °C ir 80 °C), bet esant aukštesnei temperatūrai (95 °C ir 110 °C) bei didesniame drėgmės kiekiui, krakmolo brinkimas gerokai padidėjo [140].

Literatūros duomenimis apdorojimas IR spinduliais sumažina ankštinių virimo laiką dėl atviresnės mikrostruktūros, kuri padidina vandens absorbciją, o taip pat ir krakmolo kleisterizacijos laipsnį bei sumažina baltymų tirpumą [141, 142]. Yang su bendraautorais tyrė IR spindulių kiekį žirnių krakmolo kleisterizacijos laipsniui ir nustatė, kad apdorojimas IR spinduliais 92 s žymiai

pagerino krakmolo kleisterizacijos laipsnį (nuo 10,1 % iki 32,8 %) lyginant su apdorėjimu, kuris truko 58 s (krakmolo kleisterizacijos laipsnis 18,6 %) [143].

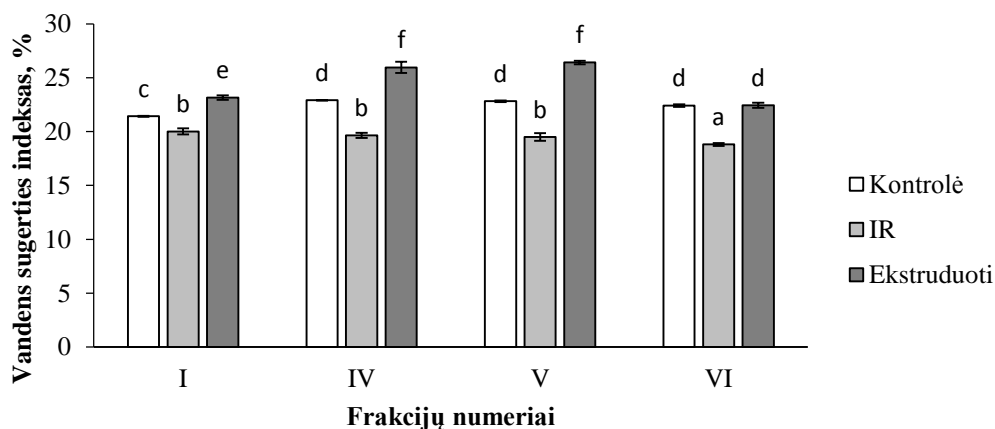
### 3.1.4 Apdorėjimo būdo įtaka vandens sugerties indeksui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose

Vandens sugerties indeksai (VSI) neapdorotų, ekstrudotų ir IR spinduliais apdorotų kukurūzų žaliavos I–VI-os frakcijų pateikti 3.1.4. paveiksle.

Vertinant kukurūzų apdorėjimo būdų įtaką VSI, pastebėta, jog didžiausiu VSI pasižymi ekstruduoti kukurūzai (22,45-26,42 %). Neapdorotų kukurūzų frakcijose nustatytas mažesnis VSI lyginant su ekstruduotais kukurūzais (21,43-22,92 %). Tyrimų rezultatai parodė, jog mažiausiu VSI pasižymi IR spinduliais apdoroti kukurūzai (18,81-20,02 %).

Vandens sugerties indeksas (VSI) paaiškinamas krakmolo dispersija vandens pertekliuje. Dispersija padidėja pažeidus krakmolą kleisterizacijos ir ekstruzijos metu, kai sukeliama skilimas ir sumažėja amilozės bei amilopektino molekulinė masė [144]. VSI parodo krakmolo užimamą tūrį po brinkimo vandens pertekliuje, kuris padeda išlaikyti krakmolo vientisumą vandeninėje dispersijoje [145]. VSI matuoja krakmolo absorbuotą vandens kiekį ir gali būti naudojamas kaip kleisterizacijos indeksas, nes grynas krakmolas nesugeria vandens kambario temperatūroje [146, 147, 148]. VSI turi įtakos ekstruzijos temperatūra ir drėgmė, didėjant šiems parametrams, didėja ir vandens sugerties indeksas. Tai patvirtino sojų mėsos [149], kukurūzų krakmolo ekstrudatų [150], taip pat pupelių [151] ir avinžirnių ekstrudatų [152] tyrimai.

Kiti autoriai teigia, kad didinant produkto drėgmę ir ekstruzijos temperatūrą, kviečių ekstrudato VSI žymiai sumažėja, tuo tarpu kviečių ekstrudato TVI padidinus šiuos parametrus, žymiai padidėja [148].



3.1.4. pav. Vandens sugerties indeksai (%) skirtingai apdorotos kukurūzų žaliavos frakcijose

Skirtumai tarp grūdų ir jų ekstrudatų VSI rodo, jog ekstrudatai pasižymi ženkliai didesniu VSI. Tai gali būti paaiškinama poringos makrostruktūros formavimu apdorojant ekstruderiu, kuri

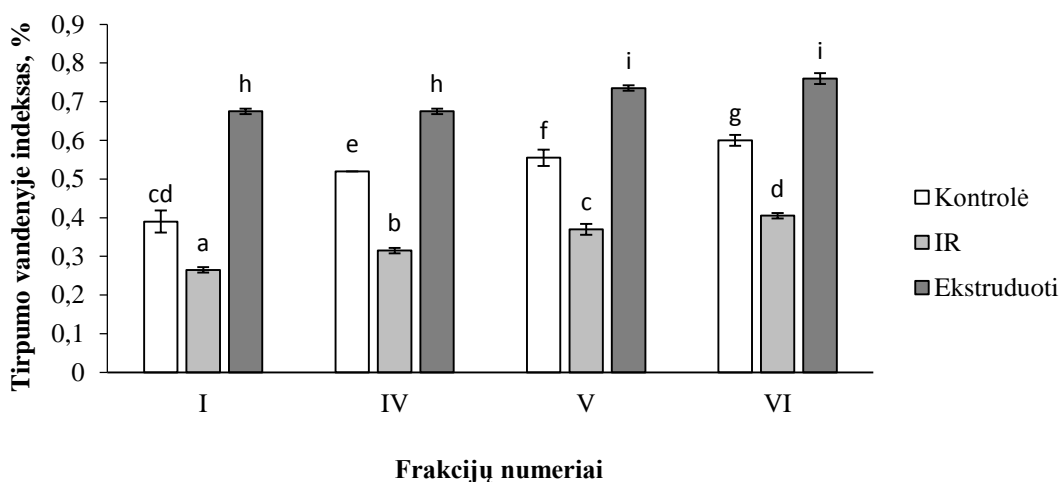
palengvina vandens įgėrimą bei sąveiką su hidrofilinėmis grupėmis. Skirtumai tarp ekstrudatų VSI verčių gali būti paaiškunami skirtingu pažeisto krakmolo kiekiu juose, kuris leidžia miltams tapti labiau hidrofiliniais [154].

IR spinduliais apdorotų pupelių nustatytos VSI vertės buvo mažesnės už neapdorotų pupelių VSI vertes. Didėjant dažniui, VSI vertės mažėjo. Autoriai teigia, jog VSI didėjimą lemia baltymų denatūracija, krakmolo kleisterizacija bei skaidulų brinkimas hidrotermiškai apdorojant pupeles. VSI verčių didėjimas taip pat susijęs su didelio laipsnio krakmolo pažeidimais (krakmolo depolimerizacija) [124].

### 3.1.5 Apdorojimo būdo įtaka tirpumo vandenyje indeksui skirtingose kukurūzų produktų frakcijose

Tirpumo vandenyje indeksai I–VI-os neapdorotų, ekstruduočių ir IR spinduliais apdorotų kukurūzų žaliavos frakcijų pateikti 3.1.5. paveiksle.

Įvertinus skirtingų kukurūzų apdorojimo būdų įtaką tirpumo vandenyje indeksui (TVI), pastebėta tendencija, jog tirpumo vandenyje indeksas didėja palaipsniui nuo I-os frakcijos iki VI-os frakcijos ir neapdorotuose, ir apdorotuose kukurūzuose. Didžiausias tirpumo vandenyje indeksas nustatytas ekstruduočių kukurūzų frakcijose, o mažiausias IR spinduliais apdorotuose kukurūzuose, tarpinę padėtį užėmė neapdoroti kukurūzai. Nustatyta, kad neapdorotų kukurūzų produktų tirpumo vandenyje indeksas priklausomai nuo frakcijos buvo nuo 0,39 iki 0,60 %, tuo tarpu po apdorojimo IR spinduliais sumažėjo nuo 0,27 iki 0,41 %, o po ekstruzijos padidėjo nuo 0,68 iki 0,76 %.



3.1.5. pav. Tirpumo vandenyje indeksas (%) skirtingai apdorotų kukurūzų žaliavos frakcijose

TVI dažnai naudojamas kaip molekulės sudėtinųjų dalių degradacijos indikatorius. Matuoja krakmolo konversijos laipsnį ekstruzijos metu, kuris yra tirpių polisacharidų, išlaisvinamų iš krakmolo komponentų po ekstruzijos proceso, kiekis [157].

Literatūros duomenimis produkto drėgmė ir ekstruzijos temperatūra turi įtakos tirpumo vandenyje indeksui. Didinant produkto drėgmę, žymiai sumažėjo miežių ekstrudatų TVI indeksas, o didinant ekstruzijos temperatūrą, miežių ekstrudatų TVI žymiai padidėjo [158]. Panašūs rezultatai pateikiami ir kituose šaltiniuose – didėjant ekstruzijos proceso temperatūrai, didėja ir TVI kukurūzų bei kukurūzų – lęšių ekstrudatuose [159]. Kviečių ir gvajavos vaisių mišinių ekstruzijos [160] ryžių ekstruzijos [161], bei kukurūzų ekstruzijos [162] tyrimai parodė, jog didėjant produkto drėgmei, TVI indeksas mažėja. Šio reiškinio priežastis ta, jog mažesnio drėgnio ekstrudatai turi didesnę atsparumą gniuždymui ir daro įtaką krakmolo tirpumo pokyčiams. Tirpumo padidėjimas ekstrudatuose reiškia, jog krakmolo granulė didina skilimo santykį esant mažai produkto drėgmei kukurūzų miltų ekstruzijos metu [150, 164].

Vertinant TVI skirtumus tarp grūdų ir jų ekstrudatų, buvo pastebėtas TVI didėjimas visuose grūduose, išskyrus miežius bei kviečius. TVI ryžių ekstrudate padidėjo maždaug 11 kartų dėl didelio jame esančio amilopektino kiekio. Amilopektinas yra pagrindinė frakcija, kuri suskaidoma ekstruzijos proceso metu. Mažos molekulinės masės krakmolo frakcijų generacija, kuri vyksta dėl amilopektino šakų depolimerizacijos ekstruzijos metu, gali padidinti TVI. Mažesnės TVI vertės kviečių ir miežių ekstrudatuose gali būti susijusios su dideliu krakmolo, netirpių baltymų ir maistinių skaidulų kiekiu juose [154].

Mwangwella ir bendraautorių tyrimai parodė, jog mikronizacija sumažino TVI pupelių miltuose. Mikronizuotuose miltuose TVI vertė sumažėjo lyginant su neapdorotais miltais – esant 130 °C temperatūrai sumažėjo 42 %, o 170 °C temperatūroje sumažėjo 55 %. TVI yra miltuose esančių vandenyje tirpių frakcijų rodiklis, pvz. baltymų ir cukrų. Taigi sumažėjęs TVI iš dalies gali būti susijęs su ribotu baltymų tirpumu [168]. Grikių tyrimai taip pat parodė, jog mikronizacija mažina TVI vertes lyginant su neapdorotais grikiais [169].

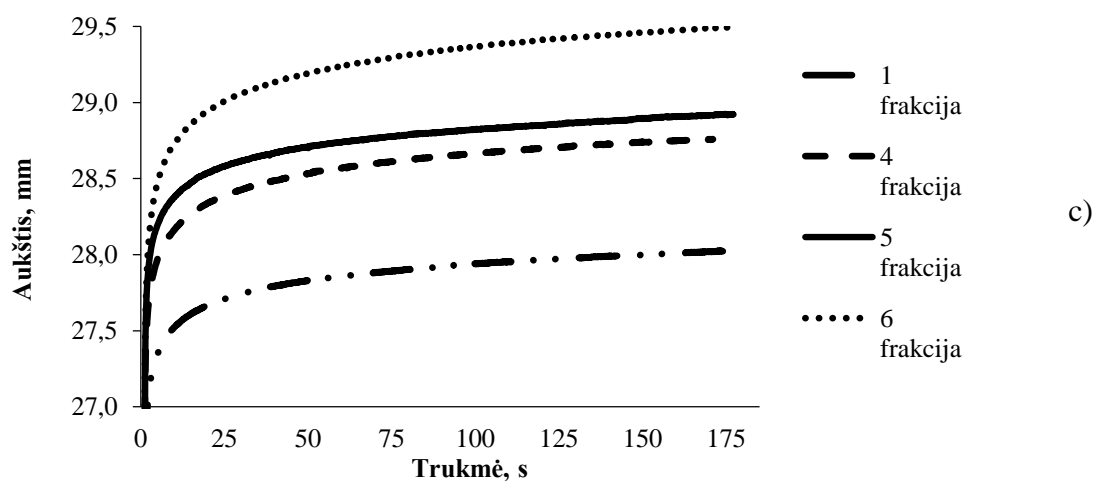
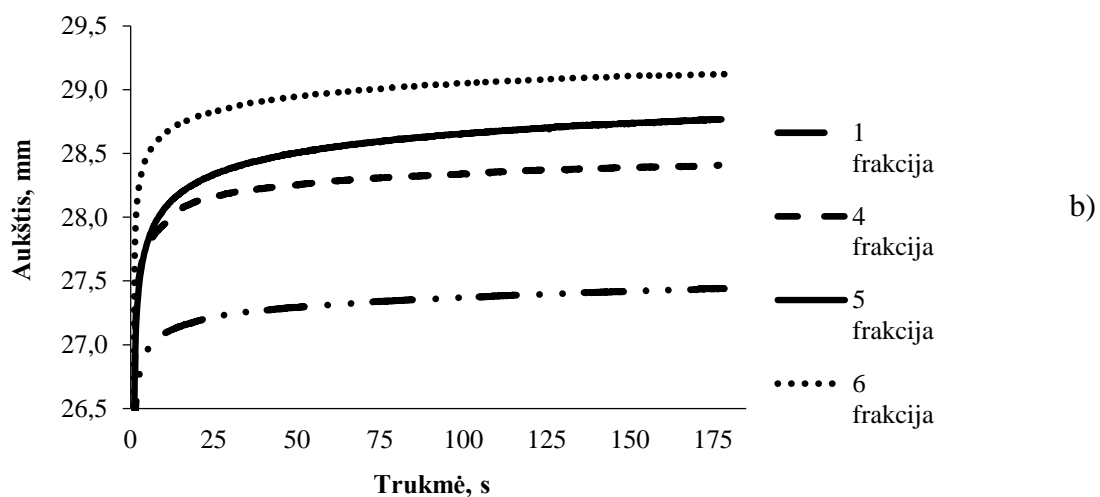
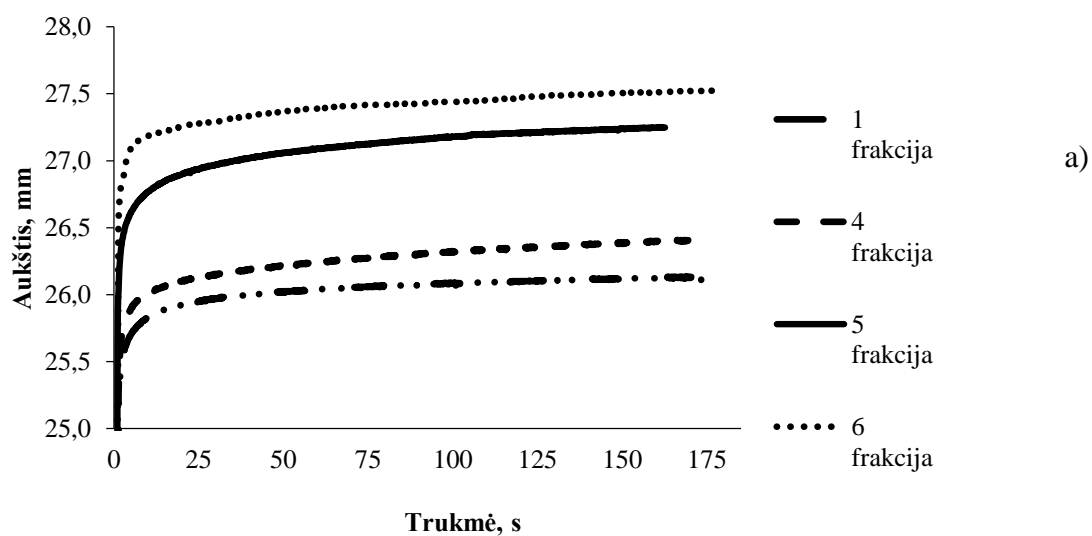
### **3.1.6 Apdorojimo būdo įtaka kukurūzų produktų kleisterių klampai**

Iš įvairias būdais apdorotų kukurūzų frakcijų paruoštų kleisterių klampa pateikta 3.1.6.1. a, b, c paveiksluose. Nustatyta, kad kukurūzų frakcija turėjo įtakos produkto klampai, tiek ekstruduotų, IR spinduliais apdorotų ir neapdorotų kukurūzų mėginių. Didžiausias analizatoriaus smigimo atstumas užfiksuotas VI-ose frakcijose, o mažiausias smigimo atstumas užfiksuotas I-ose frakcijose.

Vertinant įvairių frakcijų apdorojimo būdo įtaką kukurūzų kleisterių klampai nustatyta, kad didžiausias analizatoriaus smigimo atstumas užfiksuotas ekstruduotos žaliavos kleisterių, kiek mažesnis IR spinduliai apdorotos žaliavos kleisterių, o ženkliai mažiausias smigimo atstumas nustatytas neapdorotos kukurūzų žaliavos (3.1.6.2. a, b, c, d pav.).

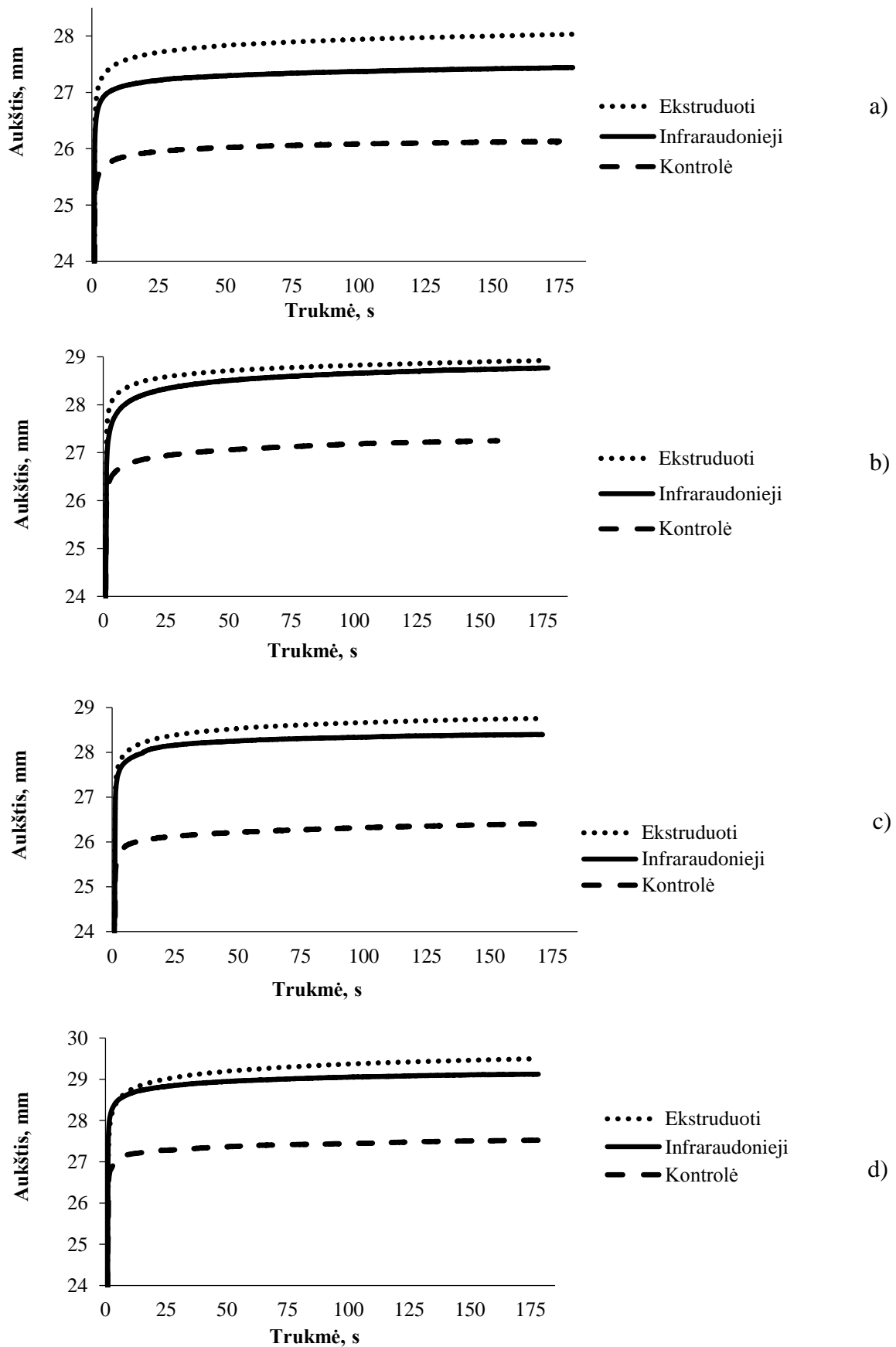
Taigi, mažiausiai klampūs ekstruduotų kukurūzų geliai, už juos nežymiai klampesni infraraudonaisiais spinduliais apdorotų kukurūzų geliai, o labiausiai klampūs neapdorotų kukurūzų geliai – šias tendencijas galima pastebėti visose frakcijose.

Panašius tyrimų rezultatus paskelbė ir kiti autoriai tyrinėję miežius. Ekstruzija žymiai sumažina klampumą, kuris siejamas su krakmolo kleisterizacija, vykstančia ekstruzijos metu, kur veikia aukšta temperatūra, didelė drėgmė ir šlyties jėgos. Gelių klampumas labai priklauso nuo krakmolo kleisterizacijos laipsnio ir molekulinio skilimo dėl šlyties jėgos ekstruzijos metu. Miežių tyrimai parodė, jog gelių klampumas žymiai sumažėjo po apdorojimo ekstruzija, o miežių miltų tyrimai atskleidė, jog didėjant ekstruzijos temperatūrai, žymiai sumažėjo ekstrudatų klampumas [170]. Ekstruduoti miltai parodė mažesnę gelių klampumą, lyginant su neapdorotais miltais, kuris yra pageidautinas modifikuotiems miltais, naudojamiems kaip funkcinis ingredientas maisto produktuose [171].



3.1.6.1. pav. Skirtingai apdorotų kukurūzų produktų kleisterių klampa: a) kontrolė, b) IR spinduliais apdoroti, c) ekstruduoti





3.1.6.2. pav. I, IV, V ir VI frakcijų (atitinkamai a,b,c ir d) skirtingai apdorotų kukurūzų produktų kleisterių klampa

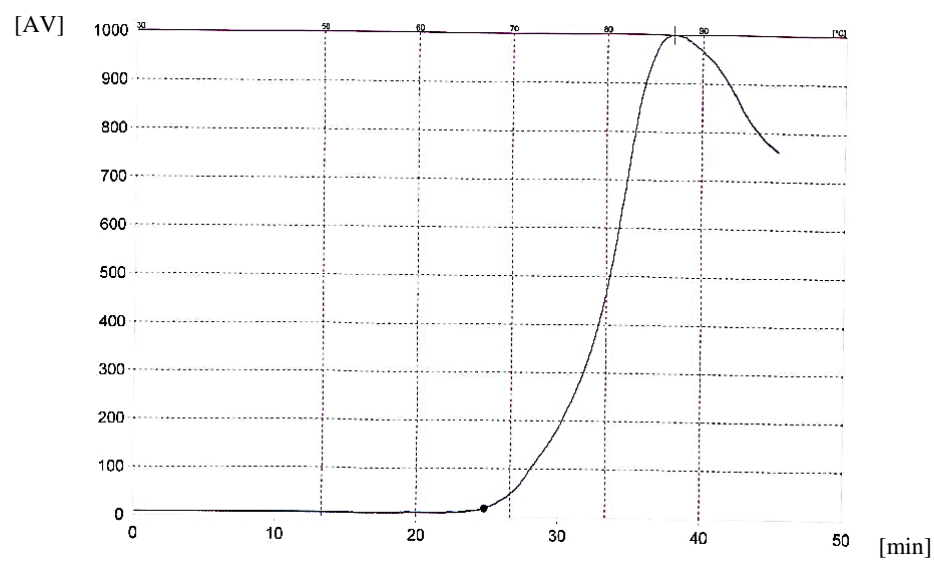
Didžiausia gelių klampa parodo didžiausią krakmolo granulių brinkimą. Arce su bendraautoriais tyrė IR spindulių poveikį pupelių gelių klampumui ir nustatė, jog esant didžiausiai IR galiai (20 Hz), užfiksuota mažiausia gelių klampa, tai gali būti susiję su krakmolo skilimu, veikiant elektros energijai. Tačiau mėginiai, apdoroti mažesne IR galia (10 Hz), parodė klamos didėjimą lyginant su neapdorotų pupelių mėginiais [124].

Ismailoglu ir kt. atlikę kukurūzų krakmolo tyrimus nustatė, jog apdorojant juos IR spinduliais (550-730 W galia), esant 20 % drėgmės kiekiui, didelių klampumo pokyčių, lyginant su neapdorotų kukurūzų krakmolu nepastebėta. Tačiau, didinant drėgmės kiekį ir IR spindulių galią, užfiksuoti klampumo pokyčiai – klampumas žymiai sumažėjo [173].

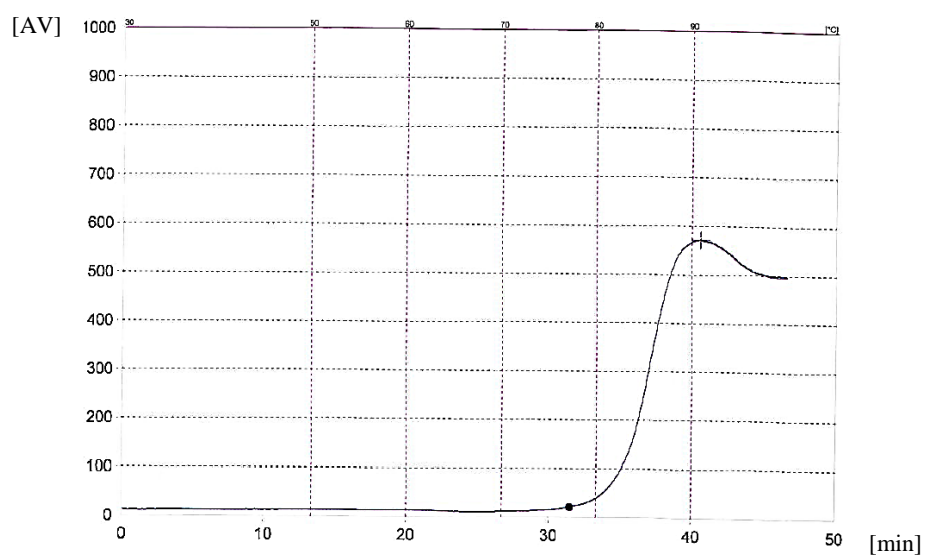
### **3.1.7 Apdorojimo būdo įtaka klampai skirtingose kukurūzų produktų frakcijose**

Kukurūzų produktų klampumo tyrimai amilografu parodė panašius į 3.1.6. skyrelyje pateiktus rezultatus. 3.1.7.1. paveiksle pateiktos kukurūzų kontrolės I-os ir VI-os frakcijų amilogramos. Iš jų galima matyti, jog I-oji neapdorotų kukurūzų frakcija yra klampesnė už VI-tą neapdorotų kukurūzų frakciją. Nustatyta, jog kleisterizacijos procesas I-oje frakcijoje prasidėjo 67,3 °C temperatūroje, o VI-oje frakcijoje prasidėjo aukštesnėje – 77,3 °C temperatūroje. Temperatūra, kurioje pasiekiamas maksimalus kleisterizacijos klampumas I-oje frakcijoje – 87 °C, o VI-oje frakcijoje – 90,9 °C. Maksimalus kleisterizacijos klampumas amilografo vienetais (AV): I-oji frakcija – 999 AV, o VI-oji frakcija – 571 AV.

3.1.7.2. paveiksle pateiktos IR spinduliais apdorotų kukurūzų I-os ir VI-os frakcijų amilogramos. Iš jų galima matyti, jog I-oji IR spinduliais apdorotų kukurūzų frakcija yra klampesnė už VI-tą IR spinduliais apdorotų kukurūzų frakciją. Nustatyta, jog kleisterizacijos procesas I-oje frakcijoje prasidėjo 75,3 °C temperatūroje, o VI-oje frakcijoje prasidėjo žemesnėje – 71,5 °C temperatūroje. Temperatūra, kurioje pasiekiamas maksimalus kleisterizacijos klampumas I-oje frakcijoje – 90,6 °C, o VI-oje frakcijoje – 89,4 °C. Maksimalus kleisterizacijos klampumas amilografo vienetais (AV): I-oji frakcija – 626 AV, o VI-oji frakcija – 538 AV. 3.1.7.3. paveiksle pateiktos ekstruduočių kukurūzų I-os ir VI-os frakcijų amilogramos. Iš jų galima matyti, jog I-a ekstruduočių kukurūzų frakcija yra klampesnė už VI-tą ekstruduočių kukurūzų frakciją. Nustatyta, jog kleisterizacijos procesas I-oje frakcijoje prasidėjo 64,8 °C temperatūroje, o VI-oje frakcijoje prasidėjo aukštesnėje – 65,4 °C temperatūroje. Temperatūra, kurioje pasiekiamas maksimalus kleisterizacijos klampumas I-oje frakcijoje – 86,5 °C, o VI-oje frakcijoje – 84,5 °C. Maksimalus kleisterizacijos klampumas amilografo vienetais (AV): I-oji frakcija – 365 AV, o VI-oji frakcija – 303 AV.

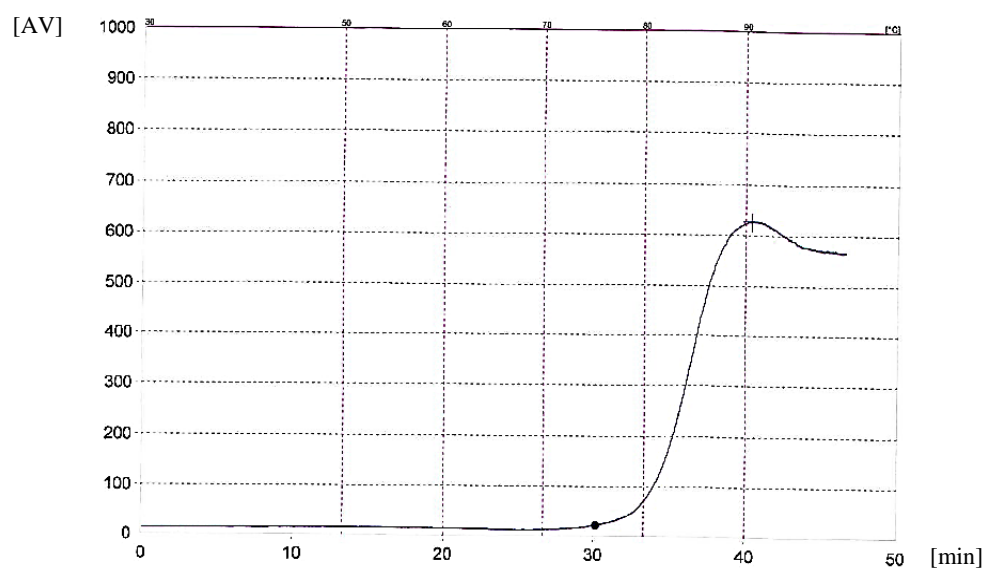


a)

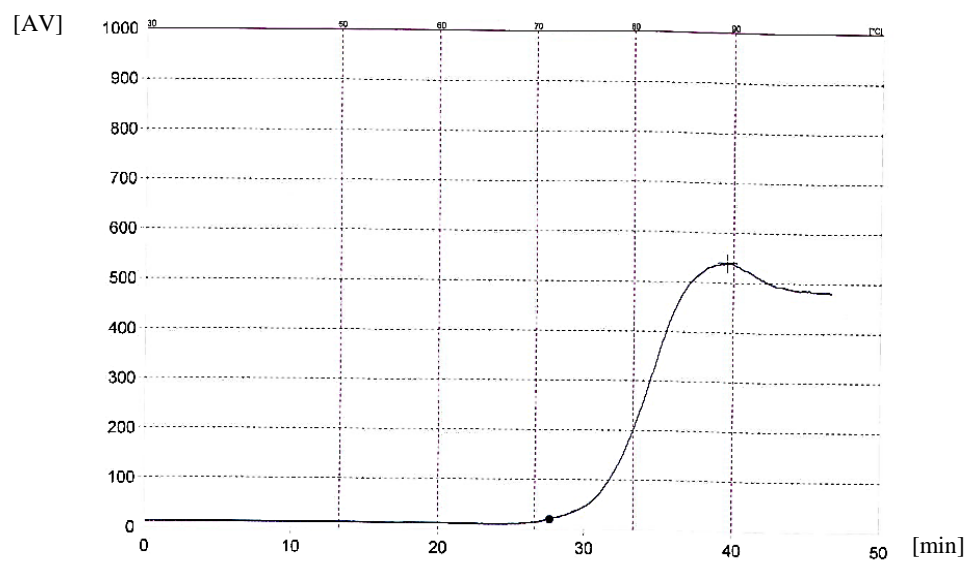


b)

3.1.7.1. pav. Neapdorotų kukurūzų produktų I (a) ir VI (b) frakcijų amilogramos

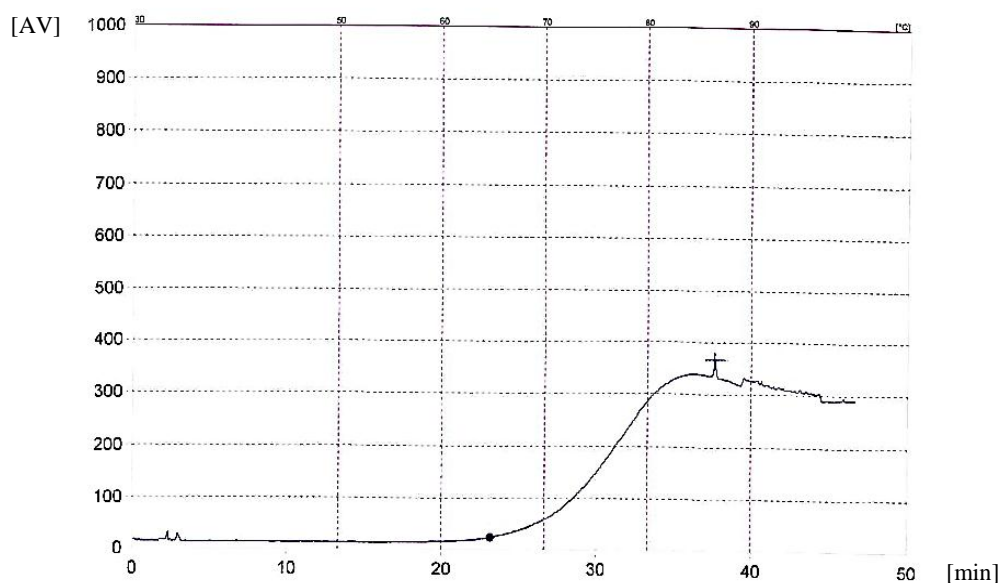


a)

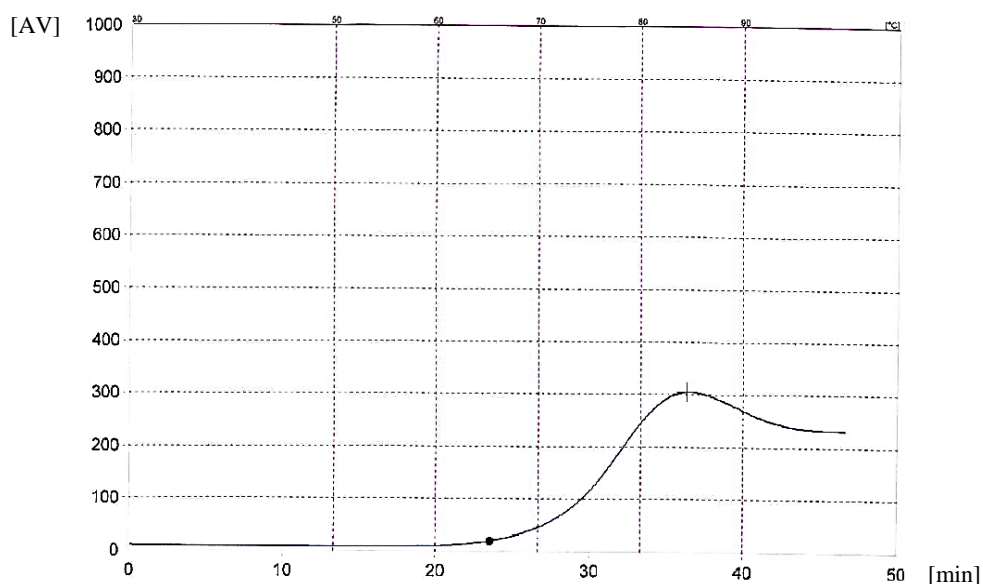


b)

3.1.7.2. pav. IR spinduliais apdorotų kukurūzų produktų I-os (a) ir VI-os (b) frakcijų amilogramos



a)



b)

3.1.7.3. pav. Ekstruotų I (a) ir VI (b) frakcijų amilogramos

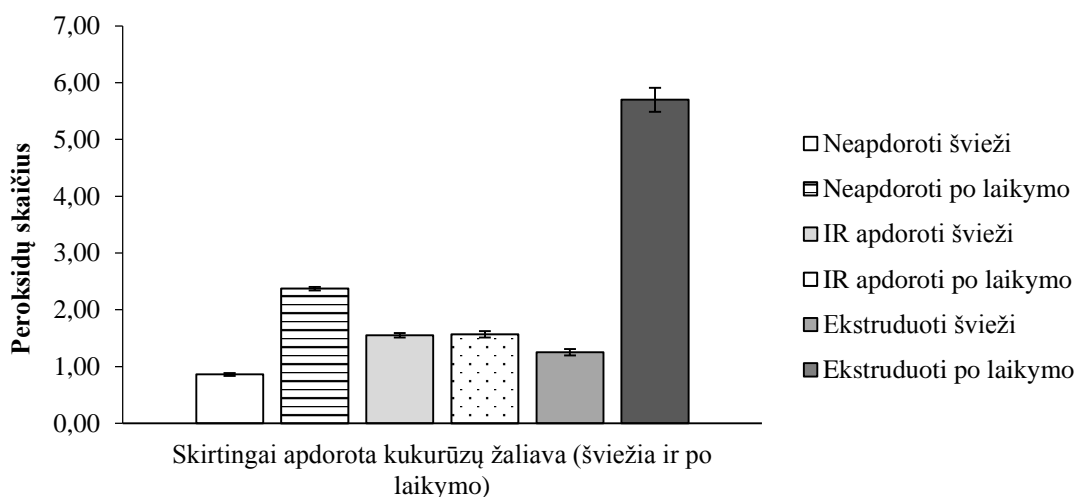
Kukurūzų miltų klampos didėjimą lemia temperatūros didėjimas, mechaninis poveikis maišant bei miltuose esančios  $\alpha$ -amilazės aktyvumas.  $\alpha$ -amilazės aktyvumą parodo maksimalus kleisterizacijos klampumas amilografo vienetais (AV). Kuo AV didesni, tuo didesnis ir  $\alpha$ -amilazės aktyvumas.  $\alpha$ -amilazės aktyvumui didėjant, kepinių kepamoji vertė yra sumažinama, nes atpalaiduojamas baltymų surištas vanduo, mažėja tešlos gebėjimas absorbuoti vandenį, tešlos elastingumas, blogėja duonos kokybė. Nuo  $\alpha$ -amilazės aktyvumo priklauso duonos forma: a) kai maksimalus kleisterizacijos klampumas 210–230 AV, duonos kokybė labai bloga; b) kai maksimalus kleisterizacijos klampumas 240–340 AV, duonos forma būna linkusi į „plaukimą“; c) kai maksimalus kleisterizacijos klampumas 350–750 AV, duonos kokybė labai gera; d) kai

maksimalus kleisterizacijos klampumas 800 AV ir daugiau, duonos apimtis būna maža, plutos spalva blyški [153].

Taigi, pagal gautus kukurūzų miltų maksimalius kleisterizacijos klampumo rezultatus, galima teigti, jog duona iš kukurūzų miltų kontrolės (neapdorotų mėginių) VI frakcijos, IR spinduliais apdorotų kukurūzų miltų I-os ir VI-os frakcijų, o taip pat ekstruduočių kukurūzų miltų I-os frakcijos labai geros kokybės; duona iš kukurūzų miltų kontrolės I-os frakcijos mažos apimties, plutos spalva blyški; o duona iš ekstruduočių kukurūzų miltų VI frakcijos linkusi į plaukimą.

### 3.1.8 Apdorojimo būdo įtaka peroksidų skaičiui skirtingose kukurūzų žaliavos frakcijose

Peroksidų skaičius šviežiuose kukurūzų produktuose ir po 18 mėnesių laikymo šaldiklyje (-20 °C), priklausomai nuo skirtingo kukurūzų apdorojimo būdo pateikta 3.1.8. paveiksle. Iš gautų rezultatų matyti, jog didžiausi peroksidų skaičiaus pokyčiai laikymo metu nustatyti ekstruduotuose kukurūzuose – laikymo pradžioje kukurūzuose nustatytas peroksidų skaičius – 1,25 mekv/kg, o po 18 mėnesių laikymo padidėjo 4,56 karto. Peroksidų skaičius kito ir neapdorotuose kukurūzuose – laikymo pradžioje kukurūzuose buvo nustatyta 0,86 mekv/kg peroksidų, o po 18 mėn laikymo peroksidų padidėjo kiek mažiau lyginant su ekstruduotais - 2,76 karto. Tačiau, po 18 mėn laikymo peroksidų skaičius nepakito IR spinduliais apdorotuose kukurūzuose – laikymo pradžioje jis buvo 1,55 mekv/kg, o laikymo pabaigoje – 1,57 mekv/kg.



3.1.8. pav. Peroksidų skaičius skirtingai apdorotuose kukurūzų produktuose prieš ir po 18 mėn laikymo -20 °C

Riebalų kiekio sumažėjimas ekstruduotuose produktuose gali būti paaiškinamas riebalų apkartimu dėl laikymo metu vykstančios hidrolizės. Riebalų gedimas laikymo metu gali būti priskirtas prie lipazės fermento veiklos, kuri skaldo riebalus į laisvąsias riebalų rūgštis bei glicerolį, esant tokiems katalizatoriams kaip drėgmė, šviesa ir šiluma. Gauti rezultatai sutinka su kitų autorių duomenimis. Balfour tyrė ekstruzijos poveikį riebalų kiekio pokyčiams kukurūzų produktuose, ir nustatė, jog riebalų kiekis ekstruduotuose produktuose didesnis nei neapdorotuose kukurūzuose, kas

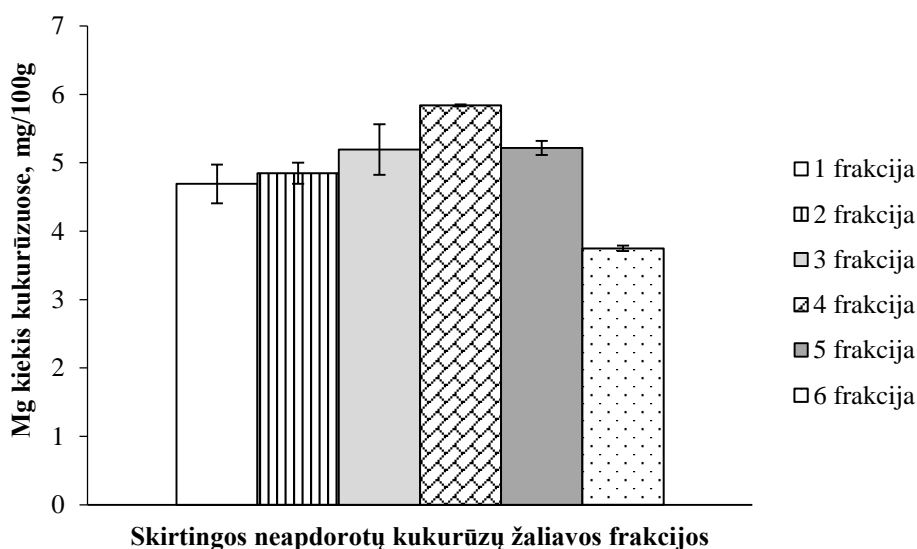
gali sąlygoti didesnį peroksidų kiekio susidarymą produkto laikymo metu. Be to, autoriai nustatė, kad laikymo metu (0-60 dienų) reikšmingai sumažėjo riebalų kiekis visuose mėginiuose [156].

Ekstruzijos poveikis lipidų oksidacijai aprašomas įvairiuose tyrimuose, šis apdorojimo būdas didina peroksidų skaičių – tai aukštos ekstruzijos temperatūros pasekmė. Tačiau kitokius rezultatus paskelbė mokslininkai tyrinėję mėsos produktus. Jų tyrimai parodė, jog ekstruzijos temperatūrai esant 71-115 °C, lipidų oksidacija sumažėjo. Kukurūzų mišinio su sojų pupelių aliejumi ekstruzija, temperatūrai esant 115-175 °C padidino peroksidų skaičių, nes peroksidai greitai skyla esant aukštai temperatūrai. Tuo pačiu buvo tirtas ekstrudotų produktų oksidacinis stabilumas, laikant juos 37 °C temperatūroje ir nustatyta, jog peroksidų formavimas didesnis tuose produktuose, kurie apdoroti aukštesnėje ekstruzijos temperatūroje. Ekstruzijos pokyčių tyrimas atskleidė, jog ekstrudotose avižose padidėjo peroksidų skaičius tiek laisvuose, tiek surištuose riebaluose. Tačiau didesnis peroksidų skaičius nustatytas laisvuose riebaluose. Taigi, vienas iš veiksnių, norint pailginti ekstrudotų produktų galiojimo laiką, surištu riebalų buvimas [166].

Tiriant IR poveikį neapdorotų ir rudųjų ryžių laikymo laikui, panašius rezultatus gavo ir kiti autoriai. Jie nustatė, jog stabilumas pagerėja ryžius šildant IR spinduliais 58 sekundes, 60 °C temperatūra. Taigi šildymas IR spinduliais gali veiksmingai inaktyvuoti lipazę ir žymiai sumažinti laisvų riebalų rūgščių kiekį [167].

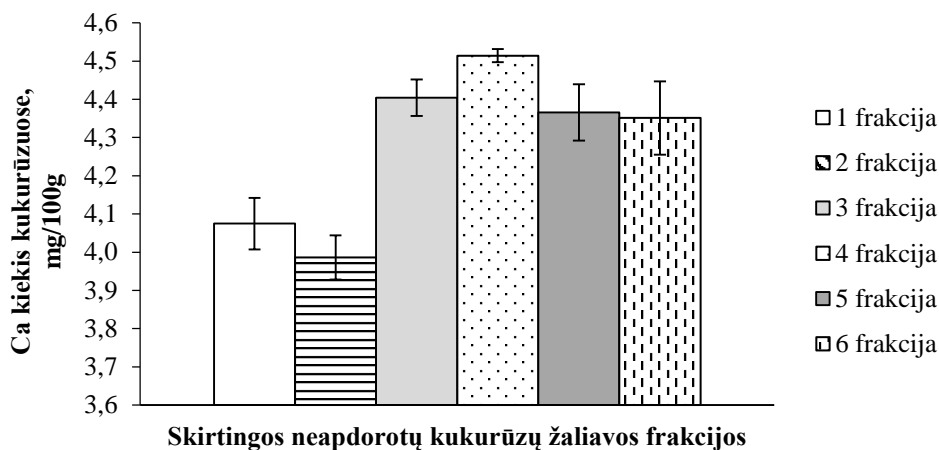
### 3.1.9 Makro ir mikroelementų pasiskirstymas skirtingose kukurūzų žaliavos frakcijose

Mg kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose pateiktas 3.1.9.1. paveiksle. Mažiausias Mg kiekis (3,75 mg/100g) nustatytas VI-ojoje frakcijoje, o didžiausias Mg kiekis (5,84 mg/100g) nustatytas IV-ojoje frakcijoje. Literatūroje pateikiamas magnio kiekis kukurūzų miltuose – 47 mg/100 g [172].



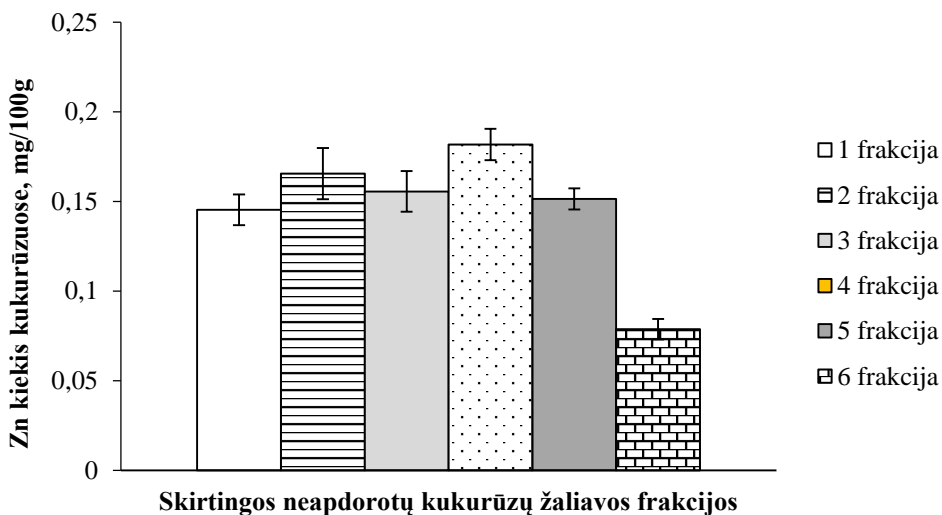
3.1.9.1. pav. Mg kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose

Ca kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose pateiktas 3.1.9.2. paveiksle. Mažiausias Ca kiekis nustatytas I-oje ir II-ojoje frakcijose (atitinkamai 4,07 ir 3,99 mg/100g), o didžiausias Ca kiekis (4,51 mg/100g) nustatytas IV-ojoje frakcijoje. Literatūroje pateikiamas kalcio kiekis kukurūzų miltuose – 6 mg/100 g [172].



3.1.9.2. pav. Ca kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose

Zn kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose pateiktas 3.1.9.3. paveiksle. Mažiausias Zn kiekis (0,079 mg/100g) nustatytas VI-ojoje frakcijoje, o didžiausias Zn kiekis (0,182 mg/100g) nustatytas IV-ojoje frakcijoje. Literatūroje pateikiamas magnio kiekis kukurūzų miltuose – 0,500 mg/100 g [172].



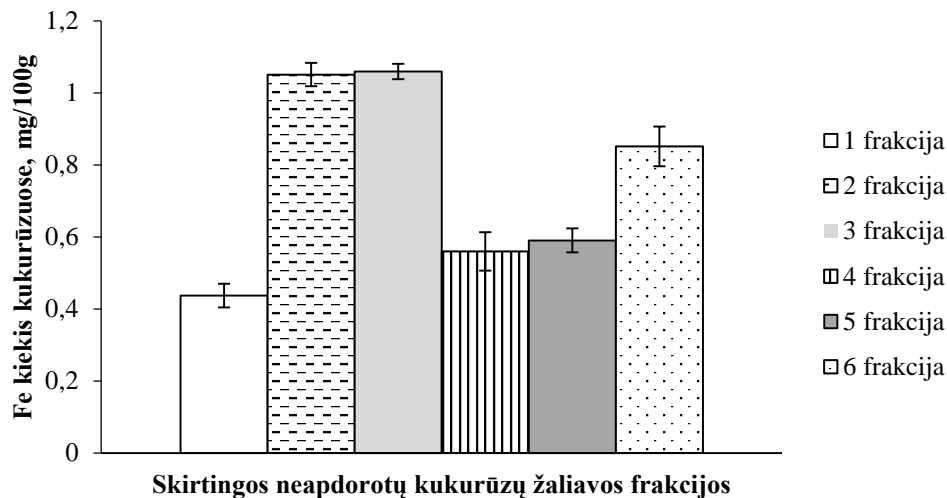
3.1.9.3. pav. Zn kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose

Tyrimų rezultatai patvirtino, kad elementų pasiskirstymas kukurūzų produktuose priklauso nuo jų frakcijos. Didžiausi Mg, Ca ir Zn kiekiai nustatyti IV-oje frakcijoje, mažiausias Mg ir Zn kiekis nustatytas VI-oje frakcijoje, o mažiausias Ca kiekis nustatytas II-oje frakcijoje.

Fe kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose pateiktas 3.1.9.4. paveiksle. Mažiausias Fe kiekis nustatytas I-ojoje frakcijoje (0,44 mg/100g), o didžiausias Fe kiekis nustatytas II-oje III-ojoje



frakcijose (atitinkamai 1,05 ir 1,06 mg/100g). Literatūroje pateikiamas geležies kiekis kukurūzų miltuose – 1,10 mg/100 g [172].



3.1.9.4. pav. Fe kiekis skirtingose kukurūzų frakcijose

Mn, Cd ir Pb kukurūzų mėginių frakcijose neaptikta. Literatūroje pateikiami kiekiai kukurūzų miltuose: Cd – 0,900 µg/100g, o Pb – 2,5 µg/100g [172].

Kitų autorių tyrimai patvirtino, kad ekstruzija neturėjo reikšmingos įtakos mikro ir makro elementų sudėčiai žirnių ir pupelių sėklose, išskyrus geležies kiekiui. Geležies kiekis miltuose po apdorojimo padidėjo. Šis reiškinys aptartas ankstesniuose tyrimuose, spėjama, jog geležies kiekis miltuose padidėjo dėl ekstruderyje esančių metalo detalių, ypač varžtų, kurie užteršia apdorojamus produktus. Panašūs pokyčiai pastebėti ir tiriant kukurūzų mikro ir makro elementų sudėtį [174, 175].

Alonso ir kt. apdoroję žirnius ekstruzija nustatė, kad geležies, vario ir fosforo absorbcija žymiai padidėjo lyginant su neapdorotais žirniais. Papildžius žirnių dietą aminorūgštimis, po ekstruzijos žymiai padidėjo kalcio, magnio, cinko, vario, geležies ir fosforo absorbcija. Tai įvyko dėl normalios enterocitų funkcijos, susijusios su mikro ir makro elementų įsisavinimo žarnyne mechanizmu. Ekstruzija žymiai padidino kalcio, magnio, cinko, vario ir fosforo absorbciją tiek papildytoje aminorūgštimis, tiek nepapildytoje pupelių dietoje. Geležies absorbcija padidėjo tik nepapildytoje pupelių dietoje. Mangano absorbcijai nei pupelių, nei žirnių dietoje terminiai procesai įtakos neturėjo [175]. Buvo pastebėta, jog ekstruzija gerina mikro ir makro elementų absorbciją mažinant kitus veiksnius, kurie slopina absorbciją. Pavyzdžiui, netirpūs kompleksai, suformuoti fitatų su mikro ir makro elementais neigiamai veikia mikro ir makro elementų absorbciją, tokiu pačiu poveikiu pasižymi ir taninai [176]. Nustatyta, jog ekstruzija sumažino fitatų kiekį 13-35 % kviečių sėlenų – krakmolo – glitimo mišinyje. Ekstruzija sumažino fitatų kiekį kvietiniuose

miltuose, bet ankštiniuose augaluose, esant žemai ekstruzijos temperatūrai, fitatų kiekis nesumažėjo [165].

Tiriant mikro ir makro elementų kiekį sorgo grūduose, nebuvo pastebėta esminių pokyčių mėginiuose, juos apdorojant IR spinduliais. Apdorojimas neturėjo reikšmingos įtakos kalcio, fosforo, geležies ir cinko koncentracijoms sorgo grūduose, tačiau žymiai pagerėjo šių elementų įsisavinimas [155].

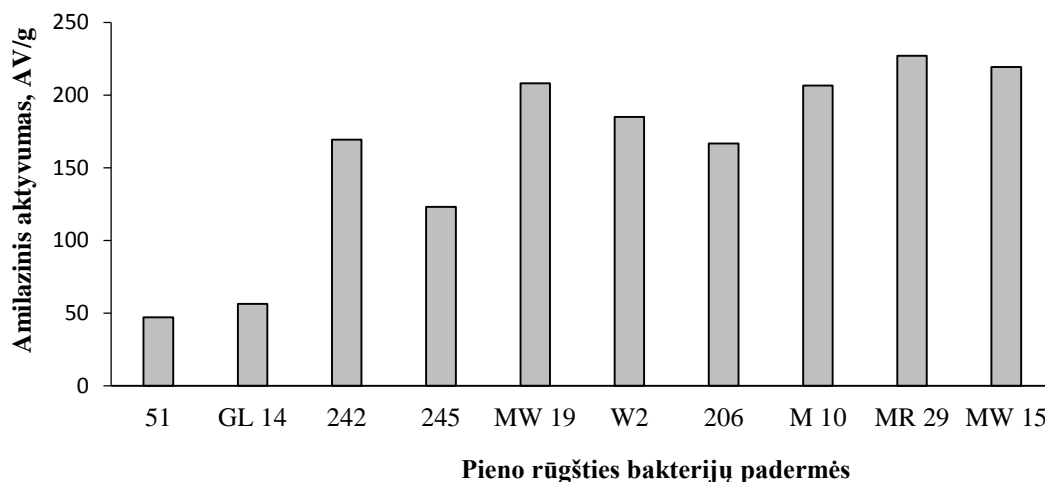
### **3.2 Duonos raugų, ruoštų iš ekstruduočių kukurūzų grūdų šalutinių produktų, fermentiniai aktyvumai ir rūgštingumas**

Šiais laikais vartotojai nori turėti platų maisto produktų, kurie yra maistingi ir kvapnūs, turi ilgą galiojimo laiką be pridėtinių konservantų, pasirinkimą. Raugai yra svarbūs šiuolaikinėje fermentacijoje, jų mikrofloroje dominuoja pieno rūgšties bakterijos (PRB), kartu su mielėmis, kurios vaidina pagrindinį vaidmenį duonos tešlos fermentacijoje. Veiksniai, kurie turi įtakos raugo kokybei – tešlos išėiga, temperatūra, raugo tipas, terpės rūgštingumas ir substratas. Raugo fermentacija turi nemažai teigiamų savybių kepiniams – ilgina galiojimo laiką, didina savitąjį tūrį, neleidžia duonai sužiedėti, pagerina duonos skonį ir padidina maistinę vertę. Raugai taip pat pagerina sensorines savybes – spalvą, kvapą, skonį ir tekstūrą. Raugai prisideda prie ilgesnio galiojimo laiko ir slopina bakterijų bei pelėsių augimą. Tešlos titruojamasis rūgštingumas ir pH yra svarbūs raugų fermentacijos metu. Pradiniame etape, tiek rūgštingumas, tiek pH išlieka pastovūs, o tarpiniame etape titruojamasis rūgštingumas didėja dėl esančių mielių. Ilgalaiškės fermentacijos etape, mielių buvimas tampa neigiamu veiksniumi ir tešlos BTR bei pH priklauso nuo PRB, įvestų į sistemą. Mielėms, esančioms rauge, PRB turi mažai įtakos, daug didesnę įtaką turi acto rūgštis. Raugų fermentacija paveikia tešlos reologines savybes 2 pakopomis: iš pradžių veikiamas pats raugas, o po to, veikiama duonos tešla, kurios sudėtyje yra raugo. Fermentacija mažina tešlos elastingumą ir klampumą, o galutinės duonos tešlos papildymas raugu tešlą daro mažiau elastingą ir minkštesnę. Reologiniai tešlos pokyčiai ir jų įtaka duonos kokybei gali būti kontroliuojami koreguojant fermentacijos laiką ir miltų pelenų kiekį. Dauguma raugui būdingų savybių priklauso nuo PRB apykaitos veiklos – fermentacija, proteolizė, lakiųjų junginių sintezė, antipelėsinių ir antigrybelinių medžiagų gamyba – jos vyksta raugų fermentacijos metu [163].

Tyrimams atrinkti kukurūzų produktai buvo išbandyti ruošiant raugus panaudojant naujai išskirtas iš ruginių ir kvietinių raugų PRB padermes. Nustatyti šių raugų, ruoštų iš kukurūzų produktų fitazinis ir amilazinis aktyvumai.

### 3.2.1. Kukurūzų raugų amilazinis aktyvumas

Atrinkti kukurūzų produktai buvo išbandyti ruošiant raugus iš naujai išskirtų PRB padermių. Raugų, ruoštų naudojant skirtingas PRB amilazinis aktyvumas pateiktas 3.2.1. paveiksle.



3.2.1. pav. Raugų, ruoštų naudojant skirtingas bakterijas amilazinis aktyvumas

Amilazinis aktyvumas rauguose, ruoštuose su skirtingomis bakterijomis buvo nuo 47,22 iki 227,10 AV/g. Didžiausiu amilaziniu aktyvumu pasižymėjo raugas, ruoštas naudojant *Lactobacillus sanfranciscensis* MR29 bakterijas, o mažiausias amilazinis aktyvumas nustatytas rauge, kuris ruoštas naudojant *Lactobacillus curvatus* 51 bakterijas.

Amilolitinės PRB pasižymi amilaziniu aktyvumu, atliekančiu reikšmingą vaidmenį žinduolių ir žmonių virškinamajame trakte. Jie skaldo krakmolą maiste iki pieno rūgšties ir fermentuojamų monosacharidų, kurie gali būti lengvai pasisavinami organizme ir taip pagerina maistinio krakmolo panaudojimą bei pagerina virškinimą. Amilolitinės PRB daugiausia randamos krakmolingame fermentuotame maiste (sorguose, ryžiuose, sorose, maniokuose, kukurūzuose ir kt.). Kiti šaltiniai yra fermentuoti grūdai, gėrimai, alaus salyklas. Amilolitinių PRB taip pat randama gyvūnų virškinamajame trakte, augaluose ir jų šalutiniuose produktuose. Amilolitinės PRB naudojamos ruošiant aukšto energijos tankio grūdų produktus, norint pagerinti mitybinio krakmolo panaudojimą kūdikių ir mažų vaikų maistui [177].

### 3.2.2. Kukurūzų raugų fitazinis aktyvumas

Fito rūgštis suriša endogeninius fermentus, tokius kaip chemotripsiną ir tripsiną virškinamajame trakte. Tokia veikla gali sumažinti biologinį mikro ir makro komponentų prieinamumą, slopina proteolitinius fermentus, vadinasi ir baltymų virškinamumą [178].

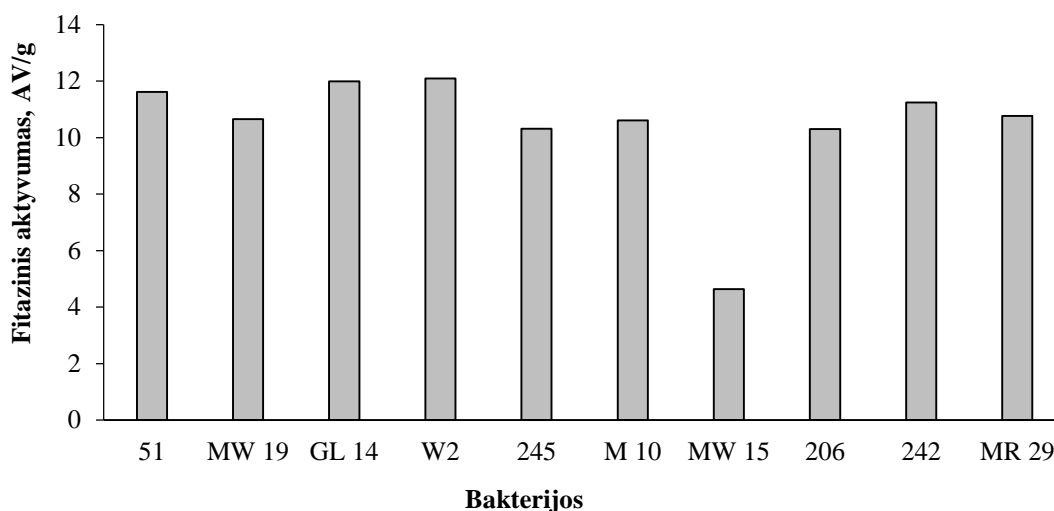
Endogeninės fitazės veikla gali pasižymėti kviečių ir rugių miltai, tačiau jos lygis labai priklauso nuo veislės ir derliaus metų, apskritai jos kiekiai yra nepakankami ženkliai sumažinti fito rūgšties kiekį. Duona, gaminama naudojant fermentuotą raugą, gali sąlygoti tinkamesnes pH vertes,

norint sumažinti fito rūgšties kiekius, naudojant endogenines fitazes ir raugą, kuris gali būti mikrobinių fitazių šaltinis. Buvo nustatyta, jog fermentacija, naudojant PRB, padidino geležies biologinį prieinamumą [179].

Fermentacija, naudojant PRB bakterijas, žymiai sumažina fitatų kiekį augaliniame maiste. Fitatų sumažėjimas vyksta dėl augaluose esančios fitazės veiklos. PRB svarbios fitatų defosforilinimui, jei sudaromos palankios sąlygos endogeninėms grūdų fitazėms, sumažinant pH vertę [180].

*In vitro* tyrimai parodė, jog bioproduktai, ruošti naudojant PRB, padidino biologinį mineralų, tokių kaip geležies, cinko, mangano, kalcio ir fosforo prieinamumą [181].

Raugų, ruoštų naudojant skirtingas PRB padermes fitazinis aktyvumas pateiktas 3.2.2. paveiksle.



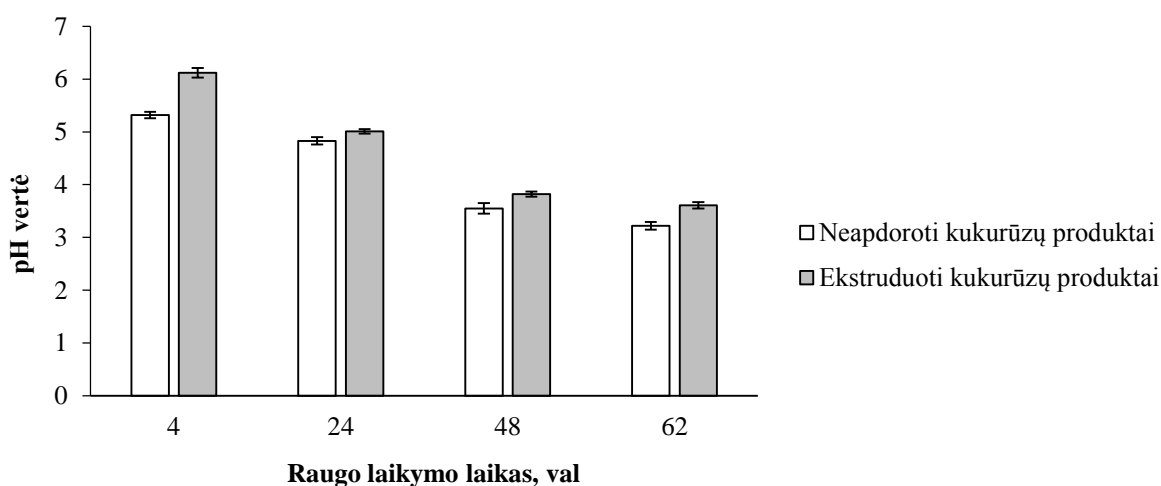
**3.2.2. pav.** Raugų, ruoštų naudojant skirtingas bakterijas fitazinis aktyvumas

Fitazinis aktyvumas rauguose, ruoštuose su skirtingomis bakterijomis, buvo 4,63-12,10 AV/g ribose. Didžiausias fitazinis aktyvumas nustatytas rauge, ruoštame naudojant *Lactobacillus sanfranciscensis* W2 bakterijas, o mažiausiu fitaziniu aktyvumu pasižymėjo raugas, ruoštas naudojant *Lactobacillus sanfranciscensis* MW15 bakterijas.

Atrinkus didžiausiu amilaziniu ir aukštu fitaziniu aktyvumu pasižyminčią *Lactobacillus sanfranciscensis* MR29 padermę, sekančio tyrimų etapo metu buvo ruošti kukurūzų raugai, kurie išbandyti duonos kepinių, gamyboje.

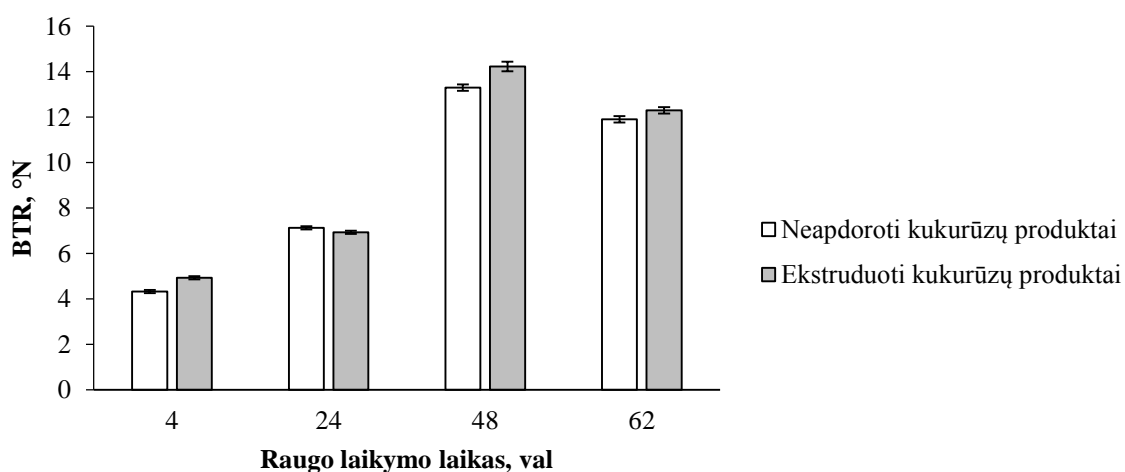
### 3.2.3. Raugų pH ir BTR pokyčiai jų gamybos metu

Atrinktos PRB *Lactobacillus sanfranciscensis* MR29 dauginτος kukurūzų produktų ir ekstruduojų kukurūzų produktų terpėse. Raugų pH ir BTR vertės pateiktos atitinkamai 3.2.3.1. ir 3.2.3.2. paveiksluose



3.2.3.1. pav. Skirtingai apdorotų kukurūzų raugo pH pokyčiai jo gamybos metu

Iš gautų rezultatų matyti, jog ilgėjant raugų laikymo laikui, pH vertė mažėja, nepriklausomai nuo kukurūzų apdorojimo būdo. Neapdorotų kukurūzų raugo pH vertės svyravo 3,22-5,32 ribose, o ekstruduočių kukurūzų raugų nustatytos pH vertės buvo didesnės (kito 3,61-6,12 ribose).



3.2.3.2. pav. Skirtingai apdorotų kukurūzų raugo BTR pokyčiai jo gamybos metu

Iš gautų rezultatų matyti, jog ilgėjant raugų laikymo laikui, BTR vertė didėja iki 48 valandų, o paskui vėl pradeda mažėti, nepriklausomai nuo kukurūzų apdorojimo būdo. Neapdorotų kukurūzų BTR vertės svyravo 4,32-13,30 ribose, o ekstruduočių kukurūzų raugų nustatytos BTR vertės buvo didesnės (kito 4,93-14,23 ribose).

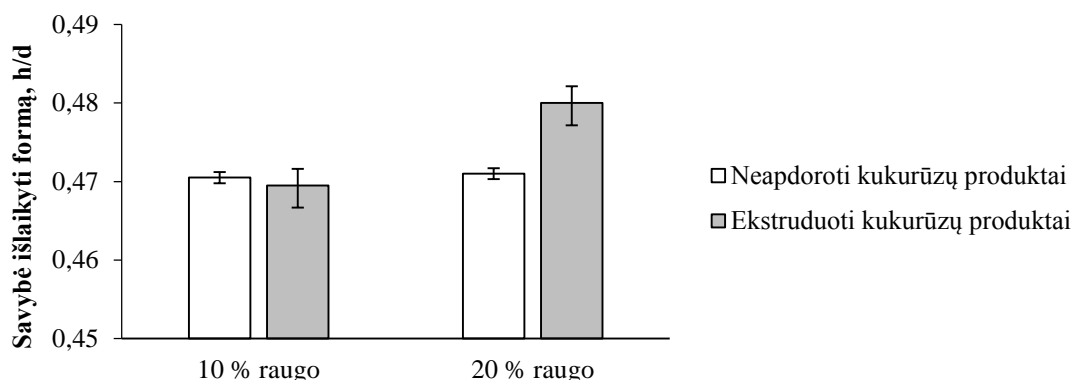
Raugų pH mažėja dėl pagrindinių metabolizmo produktų – pieno ir acto rūgščių. Optimalus raugų pH svyruoja 3,5-3,8 ribose. Raugų BTR priklauso nuo fermentacijos temperatūros, miltų tipo ir vandens santykio. Jis kinta 8-11 ribose smulkaus malimo kvietinių miltų rauguose, 16-22 ribose viso grūdo kvietinių miltų rauguose, o ruginių miltų rauguose BTR vertės yra 15-26. Nuo pieno ir acto rūgščių kiekio ir santykio priklauso duonos aromatas ir skonis, taip pat mikrobiologinis saugumas bei šviežumas [182].

### 3.3 Kukurūzų perdirbimo šalutinių produktų priedų įtaka kepinių kokybei ir juslinėms savybėms

Šio tyrimų etapo metu paruošti kukurūzų raugai naudojant atrinktą PRB – *L. sanfranciscensis* MR29 padermę, kurie išbandyti kvietinės duonos gamyboje ir nustatyti šių kepinių kokybės rodikliai (savybė išlaikyti formą, savitasis tūris, minkštimo akytumas, bendras titruojamasis rūgštingumas), o taip pat juslinės savybės. Be to, iš neapdorotų kukurūzų produktų buvo keptos bandelės keičiant kvietinių miltų kiekį neapdorotų kukurūzų produktais nuo 0 iki 40 % (nuo miltų masės). Nustatyta šių bandelių kokybės rodikliai ir juslinės savybės bei atrinktas tinkamiausias kukurūzų produktų priedo kiekis tolesniems kepinimams. Tolesni kepiniai vykdyti su 20 % (nuo miltų masės) kukurūzų produktais, kurie buvo skirtingai apdoroti – ekstruduoti, IR spinduliais apdoroti, mikrobangų krosnyje apdoroti bei neapdoroti ir nustatyti šių bandelių kokybės rodikliai ir juslinės savybės.

#### 3.3.1. Kukurūzų produktų priedų įtaka duonos su raugais kokybei ir juslinėms savybėms

Iškepus duoną su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu, buvo nustatyti kepinių formos išlaikymo rodikliai, kurie pateikti 3.3.1.1. paveiksle.

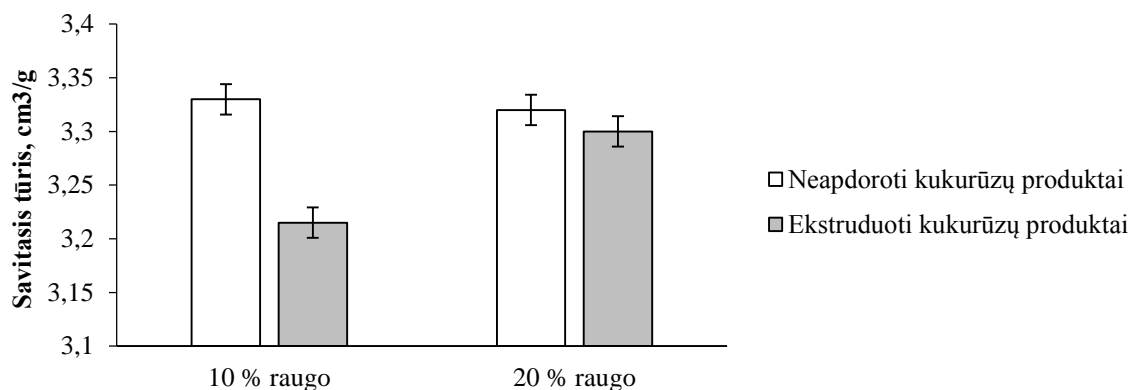


3.3.1.1. pav. Kukurūzų žaliavos neapdorotos ir ekstruduotos įtaka duonos su raugu formos išlaikymo rodikliui

Iš gautų rezultatų matyti, jog skirtingi neapdorotų kukurūzų raugo kiekiai nepakeitė duonos formos išlaikymo rodiklio, jis liko toks pat ir duonoje su 10 % raugo, ir duonoje su 20 % raugo –

0,471. Tačiau, ekstruduo­ tų kukurūzų raugo kiekis turėjo įtakos duonos formos išlaikymo rodikliui – didėjant ekstruduo­ tų kukurūzų raugo kiekiui, didėjo ir šis rodiklis (nuo 0,470 iki 0,480).

Duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu, savitojo tūrio skirtumai pateikti 3.3.1.2. paveiksle.

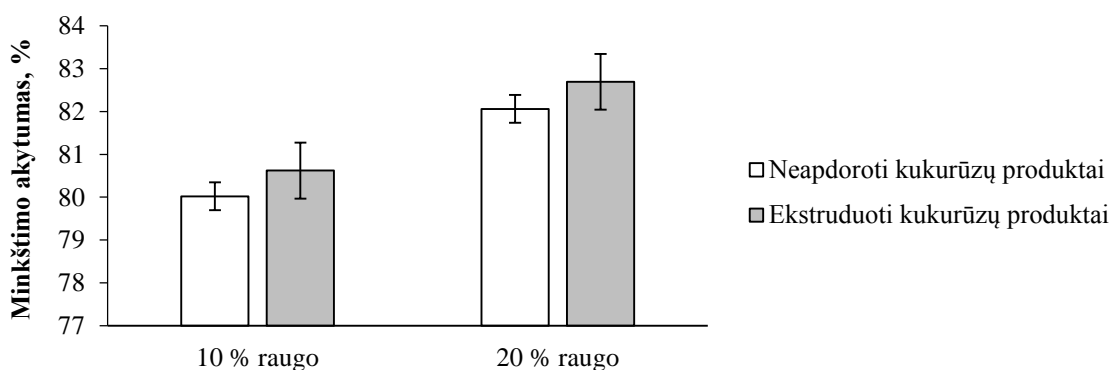


3.3.1.2. pav. Kukurūzų žaliavos neapdorotos ir ekstrudotos įtaka duonos savitajam tūriui

Iš gautų rezultatų matyti, jog skirtingi neapdorotų kukurūzų raugo kiekiai neturėjo įtakos duonos savitajam tūriui, jis liko beveik toks pat ir duonoje su 10 % raugo, ir duonoje su 20 % raugo (3,23-3,33 cm<sup>3</sup>/g). Tačiau, ekstruduo­ tų kukurūzų raugo kiekis turėjo įtakos duonos savitajam tūriui – didėjant ekstruduo­ tų kukurūzų raugo kiekiui, duonos savitasis tūris padidėjo (nuo 3,22 iki 3,3 cm<sup>3</sup>/g).

Duonos savitasis tūris didėja, didinant fermentacijos temperatūrą bei ilginant jos trukmę. Kiti autoriai teigia, jog kvietinės duonos savitasis tūris padidėjo pridėjus 20 % raugo, tačiau minkštimo reologinės savybės nesikeitė [182].

Duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu, minkštimo akytumo skirtumai pateikti 3.3.1.3. paveiksle.



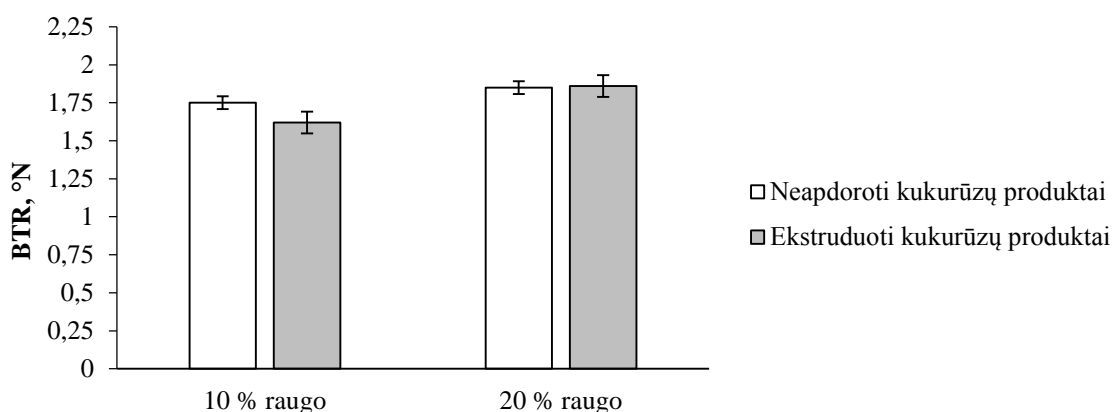
3.3.1.3. pav. Kukurūzų žaliavos neapdorotos ir ekstrudotos įtaka duonos su raugu minkštimo akytumui

Gauti rezultatai parodė, jog skirtingi neapdorotų bei ekstruduo­ tų kukurūzų raugo kiekiai turėjo įtakos duonos minkštimo akytumui. Didinant raugo kiekį, didėjo ir minkštimo akytumas,

nepriklausomai nuo kukurūzų apdorojimo būdo. Didesnis duonos minkštimo aktyumas nustatytas duonoje su ekstruduoju kukurūzų raugu (80,62-82,69 %).

Naudojant fermentuotų produktų priedus kvietinės duonos gamyboje, minkštimo kietumas mažėja. Duonos minkštimo kietumui įtakos gali turėti tešlos rūgštingumas. Pasak autorių, tešlos rūgštingumas mažina jos elastingumą [182].

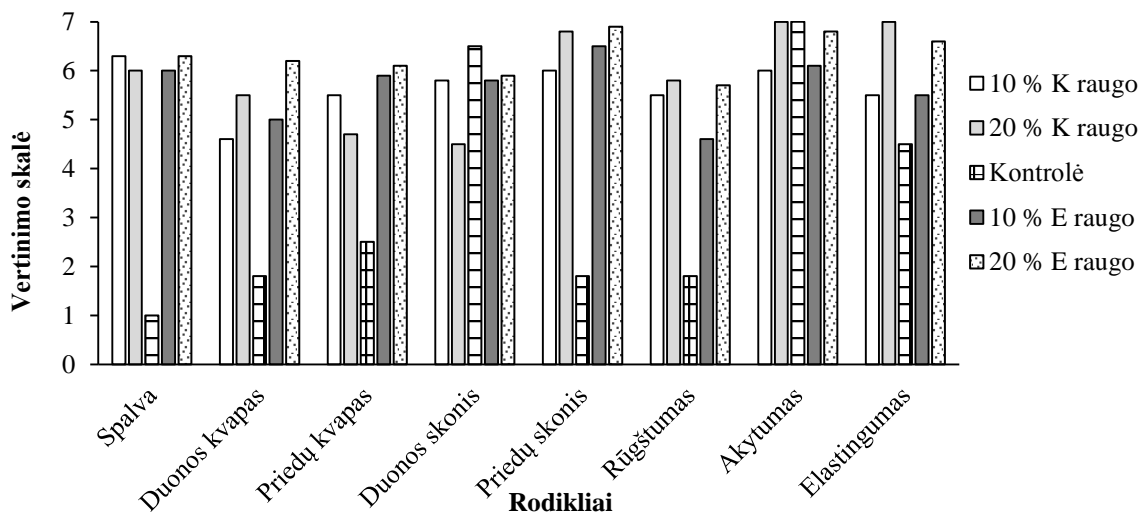
Duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu, bendro titruojamojo rūgštingumo (BTR) skirtumai pateikti 3.3.1.4. paveiksle.



3.3.1.4. pav. Kukurūzų žaliavos neapdorotos ir ekstrudotos įtaka duonos su raugu BTR vertėms

Rezultatai parodė, jog didėjant raugo kiekiui, didėja ir duonos BTR, nepriklausomai nuo kukurūzų apdorojimo būdo. Duonoje su neapdorotų kukurūzų raugu, BTR buvo 1,75-1,85 °N, o duonoje su ekstruduoju kukurūzų raugu BTR kito 1,62-1,86 °N ribose.

Atliktas juslinis duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingais jo kiekiais vertinimas. Kontrolinis kepinys gamintas be raugo, tik iš kvietinių miltų. Duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu juslinių savybių intensyvumo skirtumai pateikti 3.3.15. paveiksle.



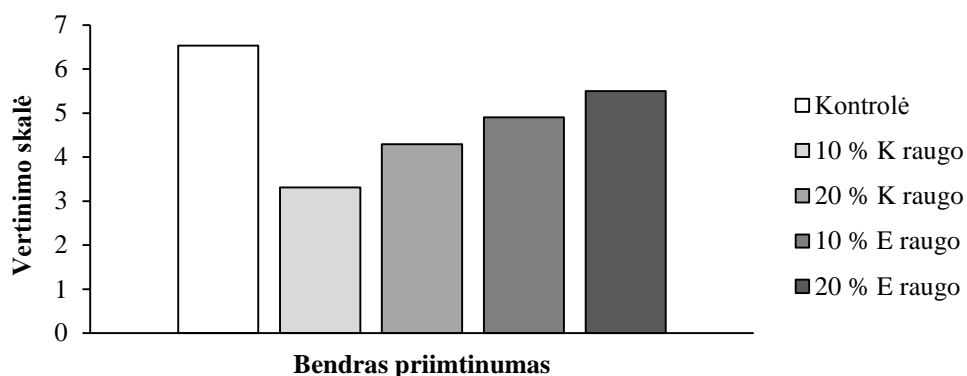
3.3.15. pav. Duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu juslinių savybių intensyvumas



Gauti rezultatai rodo, jog negalima išskirti vienos rūšies duonos, kurios visos juslinės savybės buvo intensyviausios, tačiau daugeliu intensyviausių savybių (4 savybės iš 8) pasižymėjo duona su 20 % ekstrudotų kukurūzų produktų raugo priedu. Jos spalva, kvapas, priedų kvapas ir priedų skonis įvertinti kaip intensyviausi. Intensyviausia duonos rūgštumu, akytumu ir elastingumu įvertinta duona su 20 % neapdorotų kukurūzų produktų raugo priedu, o intensyviausiu duonos skoniu – duona be kukurūzų produktų raugo.

Mažiausiu daugelio savybių intensyvumu įvertinta duona be kukurūzų produktų raugo priedo. Jos spalva, kvapas, priedų kvapas, priedų skonis, rūgštumas ir elastingumas įvertinti kaip mažiausiai intensyvūs. Mažiausiai intensyviu duonos skoniu pasižymėjo duona su 20 % neapdorotų kukurūzų produktų raugo priedu, o mažiausiu akytumu įvertinta duona su 10 % neapdorotų kukurūzų produktų raugo priedu.

Duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu, bendro priimtimumo skirtumai pateikti 3.3.1.6. paveiksle.

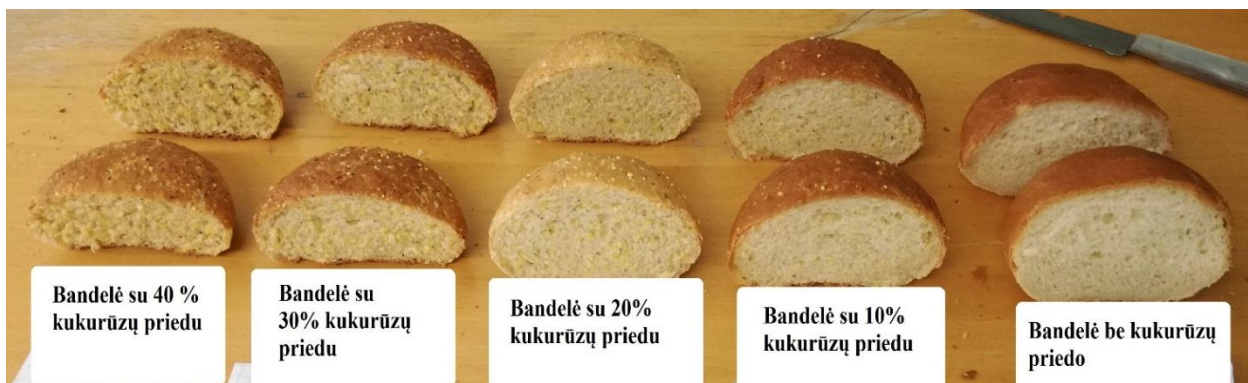


**3.3.1.6. pav.** Duonos su skirtingai apdorotų kukurūzų produktų raugu bei skirtingu jo kiekiu bendras priimtimumas

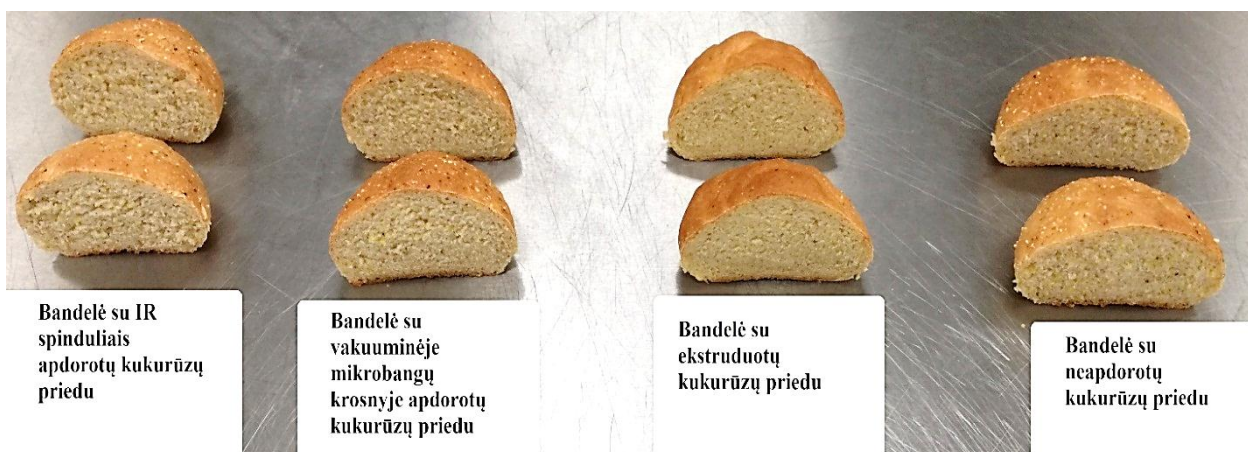
Iš gautų rezultatų matyti, jog vertintojai pagal bendrą priimtimumą geriausiai įvertino duoną be kukurūzų raugo (6,53 balo), tačiau vertinant tarpusavyje tik duoną su kukurūzų raugo priedu, priimtinausia duona buvo su 20 % ekstrudotų kukurūzų raugo (5,5 balo). Mažiausiu bendru priimtimumu įvertinta duona su 10 % neapdorotų kukurūzų raugo (3,31 balo).

### **3.3.2. Kukurūzų produktų priedų įtaka bandelių kokybei ir juslinėms savybėms**

Bandelių su skirtingu kukurūzų priedo kiekiu (40, 30, 20, 10 ir 0 %) ir skirtingai apdorotų kukurūzų priedu išvaizdų skirtumai pateikti atitinkamai 3.3.2.1. ir 3.3.2.2. paveiksluose.

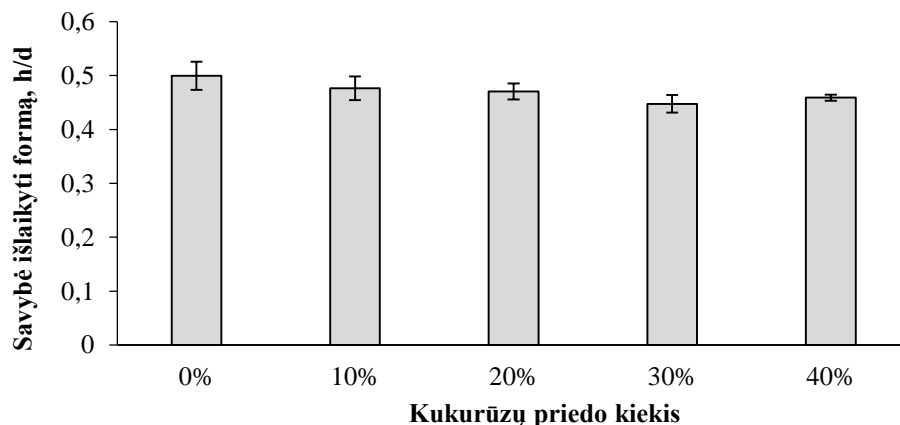


3.3.2.1. pav. Bandelių su skirtingu kukurūzų priedo kiekiu išvaizdos skirtumai



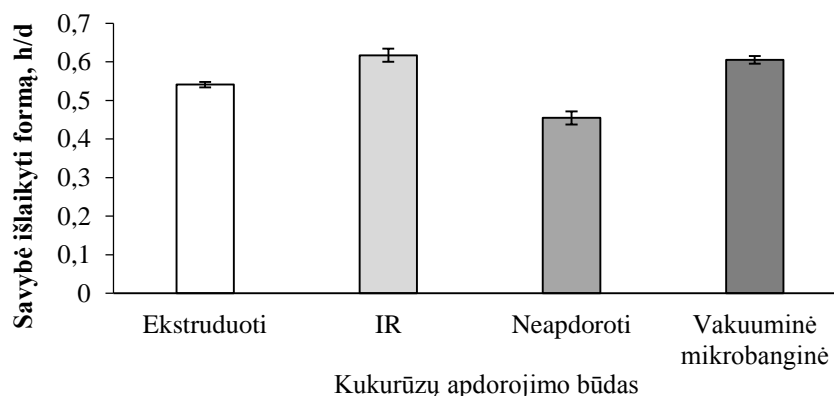
3.3.2.2. pav. Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedais išvaizdos skirtumai

Iškepus bandeles su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais, buvo nustatyti jų formos išlaikymo rodikliai, kurie pateikti 3.3.2.3. paveiksle. Bandelių su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais savybės išlaikyti formą kito nežymiose ribose 0,448–0,500 ribose. Didžiausiu formos išlaikymo rodikliu pasižymėjo bandelės be kukurūzų priedo, o mažiausias formos išlaikymo rodiklis užfiksuotas bandelėse su 30 ir 40 % kukurūzų priedu. Galima teigti, jog reikšmingo skirtumo keičiant kukurūzų priedo kiekį, bandelių formos išlaikymui neužfiksuota.



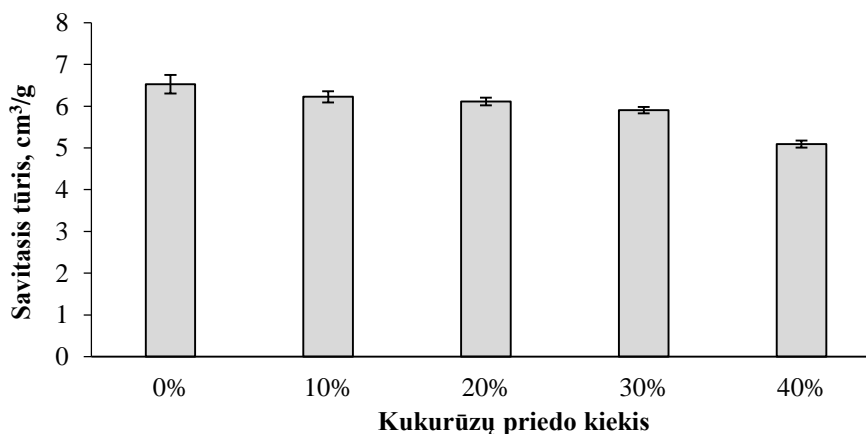
3.3.2.3. pav. Neapdorotų kukurūzų priedo kiekio įtaka bandelių formos išlaikymo rodikliui

Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų 20 % priedu savybės išlaikyti formą skirtumai pateikti 3.3.2.4. paveiksle. Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu savybės išlaikyti formą kito 0,455–0,617 ribose. Didžiausiu formos išlaikymo rodikliu pasižymėjo bandelės su IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu, o mažiausias formos išlaikymo rodiklis užfiksuotas bandelėse su neapdorotų kukurūzų priedu.



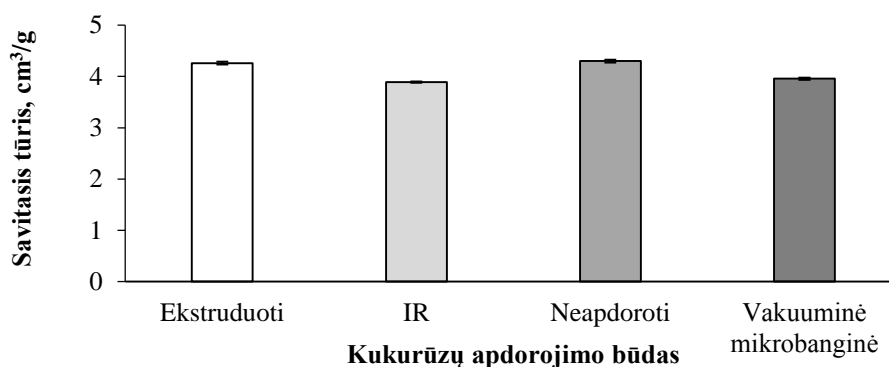
**3.3.2.4. pav.** Įvairiais būdais apdorotų kukurūzų produktų priedo (20 proc.) įtaka bandelių formos išlaikymo rodikliui

Bandelių savitojo tūrio skirtumai, keičiant kukurūzų priedo kiekį, pateikti 3.3.2.5. paveiksle. Bandelių su skirtingu kukurūzų priedo kiekiu savitasis tūris svyravo nuo 5,09 iki 6,53 cm<sup>3</sup>/g. Didžiausias savitasis tūris nustatytas bandelėse be kukurūzų priedo, o mažiausias – bandelėse su 40 % kukurūzų priedu. Kepinio savitasis tūris mažėjo, didėjant kukurūzų priedo kiekiui.



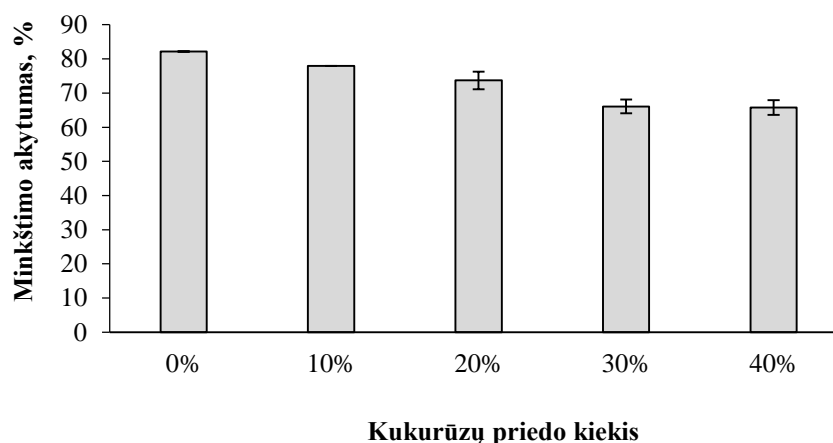
**3.3.2.5. pav.** Kukurūzų priedo įtaka bandelių savitajam tūriui

Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu (20 %) savitųjų tūrių skirtumai pateikti 3.3.2.6. paveiksle. Bandelių savitasis tūris buvo nuo 3,89 iki 4,30 cm<sup>3</sup>/g. Didžiausias savitasis tūris nustatytas bandelėse su neapdorotų kukurūzų priedu, o mažiausias – bandelėse su IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu.



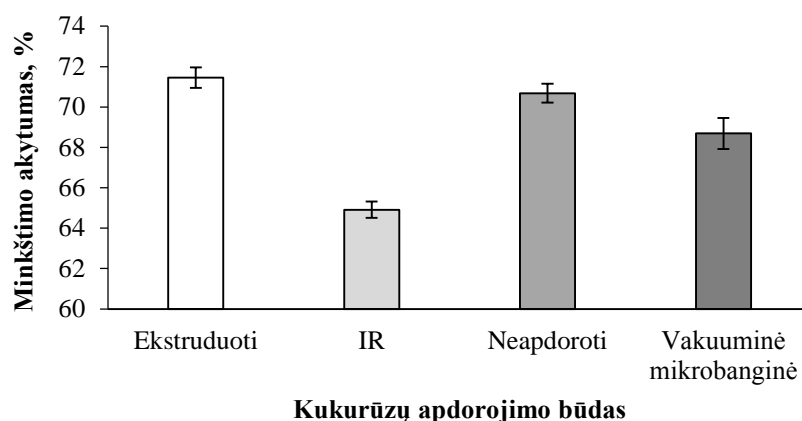
3.3.2.6. pav. Kukurūzų žaliavos apdorojimo būdo įtaka bandelių savitajam tūriui

Bandelių minkštimo aktytumo skirtumai, keičiant kukurūzų priedo kiekį, pateikti 3.3.2.7. paveiksle. Bandelių su skirtingu kukurūzų priedo kiekiu minkštimo aktytumas svyravo 66,75-82,19 % ribose. Didžiausias minkštimo aktytumas nustatytas bandelėse be kukurūzų priedo, o mažiausias minkštimo aktytumas – bandelėse su 40 % kukurūzų priedu. Didinant kukurūzų priedo kiekį, mažėja bandelių minkštimo aktytumas.



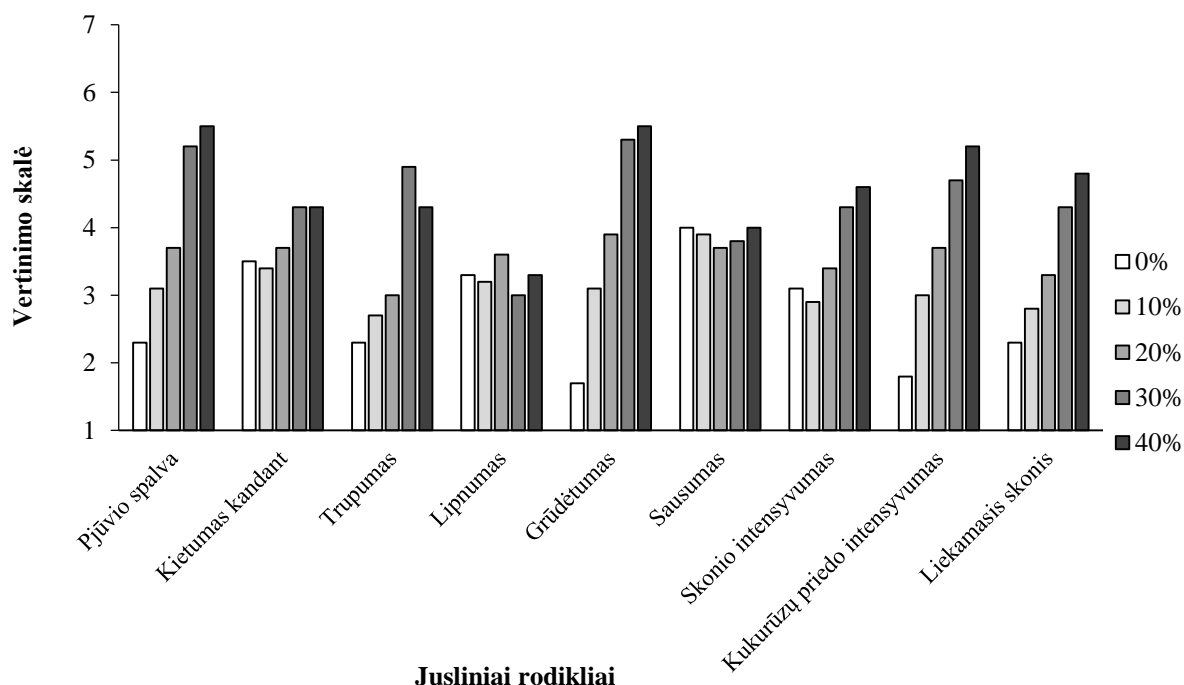
3.3.2.7. pav. Kukurūzų priedo įtaka bandelių minkštimo aktytumui

Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu minkštimo aktytumo skirtumai pateikti 3.3.2.8. paveiksle. Bandelių minkštimo aktytumas svyravo nuo 64,92 iki 71,46 %. Didžiausias minkštimo aktytumas nustatytas bandelėse su ekstruduotų kukurūzų priedu, o mažiausias minkštimo aktytumas – bandelėse su IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu.



3.3.2.8. pav. Kukurūzų žaliavos apdorojimo būdo įtaka bandelių minkštimo aktyumui

Bandelių su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais juslinių savybių intensyvumo skirtumai pateikti 3.3.2.9. paveiksle. Gauti rezultatai rodo, jog negalima išskirti vienos rūšies bandelių, kurių visos juslinės savybės buvo intensyviausios, tačiau daugeliu intensyviausių savybių (7 savybės iš 9) pasižymėjo bandelės su 40 % kukurūzų priedu. Jų pjūvio spalva, kietumas kandant, grūdėtumas, sausumas, skonio intensyvumas, kukurūzų priedo intensyvumas bei liekamasis skonis įvertinti kaip intensyviausi. Intensyviausiu lipnumu įvertintos bandelės su 20 % kukurūzų, o intensyviausiu trupumu – bandelės su 30 % kukurūzų.

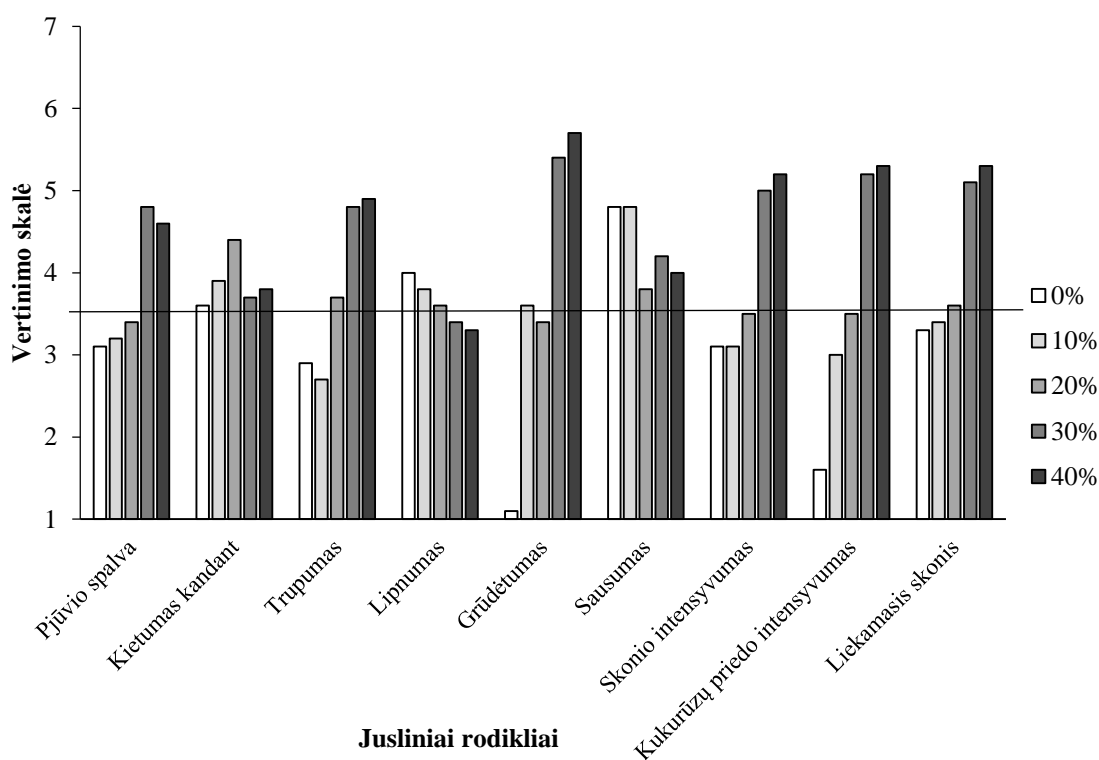


3.3.2.9. pav. Bandelių su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais juslinių savybių intensyvumas

Mažiausiu daugelio savybių intensyvumu įvertintos bandelės be kukurūzų priedo. Jų pjūvio spalva, trupumas, grūdėtumas, kukurūzų priedo intensyvumas ir liekamasis skonis įvertinti kaip mažiausiai intensyvūs. Mažiausiai intensyviu kietumu kandant ir skonio intensyvumu pasižymėjo

bandelės su 10 % kukurūzų priedu, mažiausiu lipnumu pasižymėjo bandelės su 30 % kukurūzų priedu, o mažiausiu sausumu – bandelės su 20 % kukurūzų priedu.

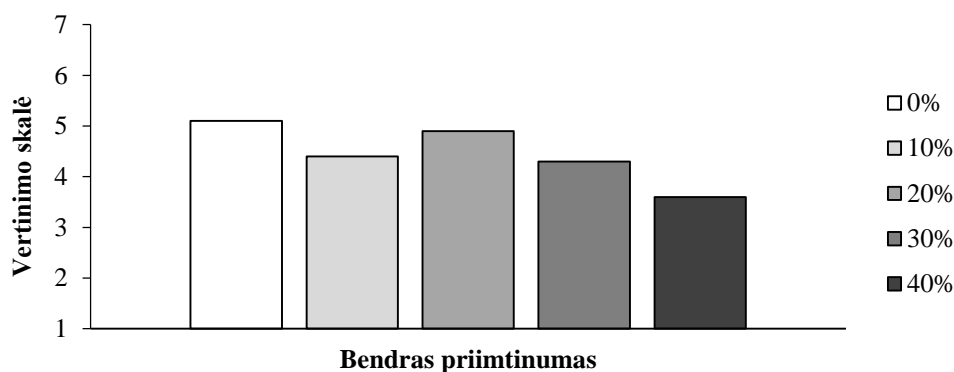
Bandelių su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais juslinių savybių priimtimumo skirtumai pateikti 3.3.2.10. paveiksle. Didžiausiu juslinių savybių priimtimumu pasižymėjo bandelės, kurių vertinimo rezultatai mažiausiai nutolę nuo skalės vidurio (3,5 balų). Taigi, geriausiai įvertintos bandelės su 20 % kukurūzų priedu (8 iš 9 savybių). Jos pasižymėjo priimtinausia pjūvio spalva, trupumu, lipnumu, grūdėtumu, sausumu, skonio intensyvumu, kukurūzų priedo intensyvumu bei liekamuoju skoniui. Tačiau priimtinausias kietumas kandant įvertintas bandelėse be kukurūzų priedo. Daugelis juslinių rodiklių mažiausiai priimtini (labiausiai nutolę nuo 3,5 balo) bandelėse su 40 % kukurūzų priedo (5 savybės iš 9). Prasčiausiai įvertinti rodikliai jose – trupumas, grūdėtumas, skonio intensyvumas, kukurūzų priedo intensyvumas ir liekamasis skonis. Mažiausiai priimtina pjūvio spalva – bandelėse su 30 % kukurūzų priedo, mažiausiai priimtinas kietumas kandant – bandelėse su 20 % kukurūzų priedo, mažiausiai priimtinas lipnumas ir sausumas – bandelėse be kukurūzų priedo.



3.3.2.10. pav. Bandelių su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais juslinių savybių priimtimumas

Bandelių su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais bendro priimtimumo skirtumai pateikti 3.3.2.11. paveiksle. Iš gautų rezultatų matyti, jog vertintojai pagal bendrą priimtimumą geriausiai įvertino bandeles be kukurūzų priedo (5,1 balas) ir bandeles su 20 % kukurūzų priedo (4,9 balo), o

mažiausiu bendru priimtiniu įvertintos bandelės su 40 % kukurūzų priedo (3,6 balo), bandelės su 10 ir 30 % kukurūzų priedo bendru priimtiniu skyrėsi labai nežymiai (atitinkamai 4,4 ir 4,3 balo).

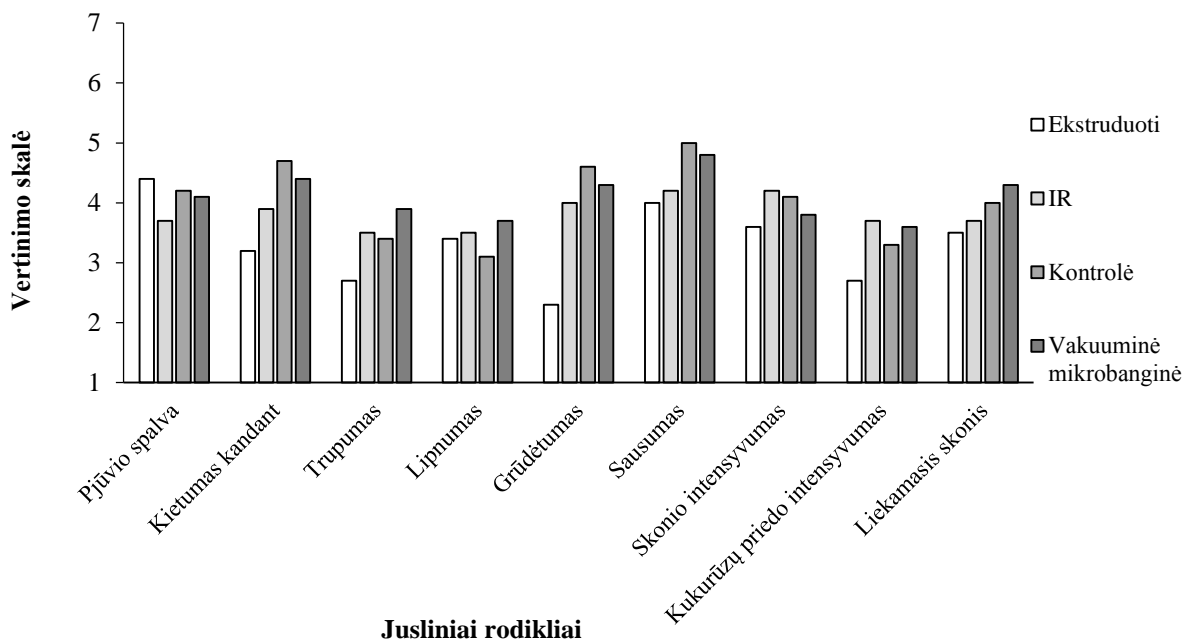


3.3.2.11. pav. Bandelių su skirtingais kukurūzų priedo kiekiais bendras priimtumas

Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu juslinių savybių intensyvumo skirtumai pateikti 3.3.2.12. paveiksle.

Gauti rezultatai rodo, jog negalima išskirti vienos rūšies bandelių, kurių visos juslinės savybės buvo intensyviausios. Intensyviausia pjūvio spalva pasižymėjo bandelės su ekstrudotų kukurūzų priedu, intensyviausiu kietumu kandant, grūdėtumu ir sausumu įvertintos bandelės su neapdorotų kukurūzų priedu. Intensyviausiu trupumu, lipnumu ir liekamuoju skoniu pasižymėjo bandelės su vakuuminėje mikrobangų krosnyje apdorotų kukurūzų priedu, o didžiausiu skonio intensyvumu ir kukurūzų priedo intensyvumu įvertintos bandelės su IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu.

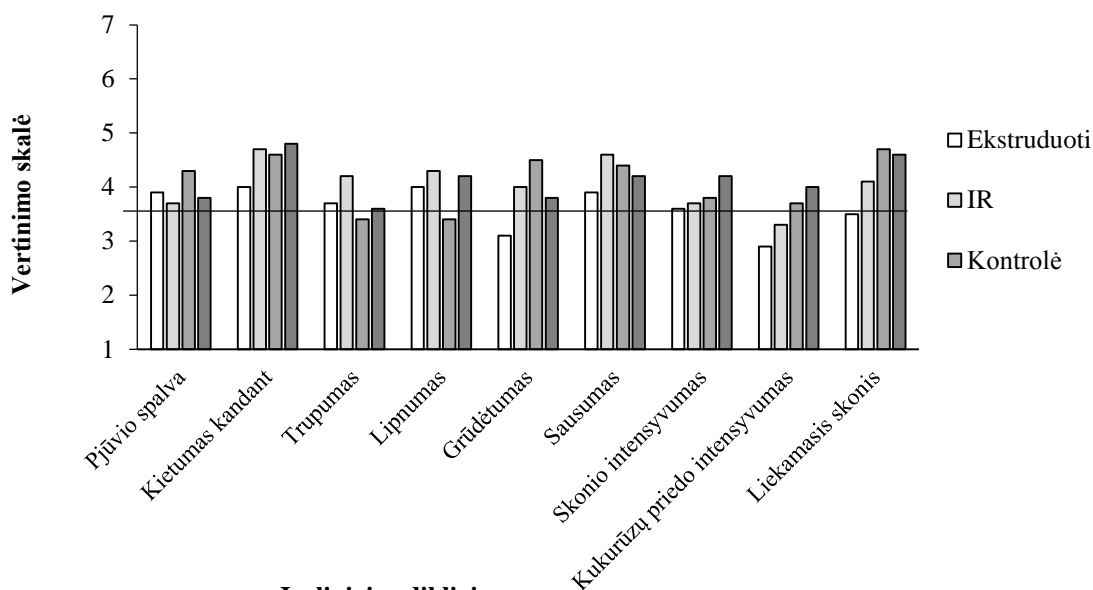
Mažiausiu daugelio savybių intensyvumu (7 savybės iš 9) įvertintos bandelės su ekstrudotų kukurūzų priedu. Jų kietumas kandant, trupumas, grūdėtumas, sausumas, skonio intensyvumas, kukurūzų priedo intensyvumas ir liekamasis skonis įvertinti kaip mažiausiai intensyvūs. Mažiausiai intensyvia pjūvio spalva pasižymėjo bandelės su IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu, o mažiausiu lipnumu pasižymėjo bandelės su neapdorotų kukurūzų priedu.



**3.3.2.12. pav.** Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu juslinių savybių intensyvumas

Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu juslinių savybių priimtimumo skirtumai pateikti 3.3.2.13. paveiksle. Didžiausiu juslinių savybių priimtimumu pasižymėjo bandelės, kurių vertinimo rezultatai mažiausiai nutolę nuo skalės vidurio (3,5 balų). Bandelės su ekstrudotų kukurūzų priedu pasižymėjo priimtinausiu kietumu kandant, sausumu, skonio intensyvumu bei liekamuoju skoniu (4 savybės iš 9). Bandelės su IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu pasižymėjo priimtinausia pjūvio spalva (1 savybė iš 9). Bandelės su neapdorotų kukurūzų priedu pasižymėjo priimtinausiu lipnumu bei kukurūzų priedo intensyvumu (2 savybės iš 9). Bandelės su vakuuminėje mikrobangų krosnyje apdorotų kukurūzų priedu pasižymėjo priimtinausiu trupumu bei grūdėtumu (2 savybės iš 9). Taigi, geriausiai įvertintos bandelės su ekstrudotų kukurūzų priedu.

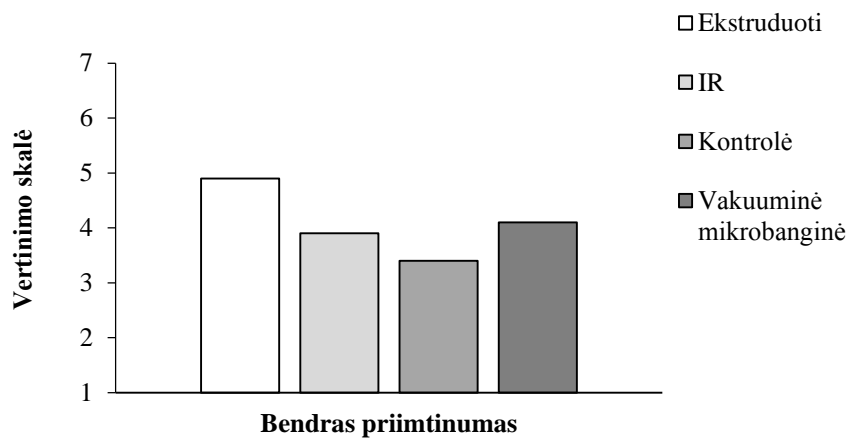




### Jusliniai rodikliai

3.3.2.13. pav. Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu juslinių savybių priimtumas

Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu bendro priimtumo skirtumai pateikti 3.3.2.14. paveiksle. Iš gautų rezultatų matyti, jog vertintojai pagal bendrą priimtumą geriausiai įvertino bandeles su ekstruduotu kukurūzų priedu (4,9 balo), o mažiausiu bendru priimtumu įvertintos bandelės su neapdorotų kukurūzų priedu (3,4 balo).



3.3.2.14. pav. Bandelių su skirtingai apdorotų kukurūzų priedu bendras priimtumas

## Išvados

1. Kukurūzų žaliavos tyrimų metu nustatyta, jog šalutinių kukurūzų produktų savybėms turi įtakos kukurūzų apdorojimo būdas:
  - 1.1. kukurūzų žaliavos apdorojimas ekstruzija ir infraraudonaisiais (IR) spinduliais padidino pažeisto krakmolo kiekį (atitinkamai vidutiniškai 36,83 ir 13,19 %);
  - 1.2. po ekstruzijos amilozės kiekis kukurūzų žaliavoje (visos frakcijose) padidėjo vidutiniškai 123,96 %, o po apdorojimo IR spinduliuote sumažėjo vidutiniškai 24,61 %;
  - 1.3. po apdorojimo IR spinduliais ir ekstruzija kukurūzų produktų kleisterizacijos laipsnis skirtingų frakcijų padidėjo atitinkamai nuo 3,89 iki 30,80 ir nuo 19,63 iki 41,34 %;
  - 1.4. didžiausias vandens sugerties indeksas (VSI) nustatytas ekstruduotuose kukurūzuose (22,45-26,42 %), neapdorotų kukurūzų frakcijose VSI buvo mažesnis (21,43-22,92 %), o mažiausias VSI buvo IR spinduliais apdorotuose kukurūzuose (18,81-20,02 %);
  - 1.5. neapdorotų kukurūzų produktų tirpumo vandenyje indeksas priklausomai nuo frakcijos buvo nuo 0,39 iki 0,60 %, tuo tarpu po apdorojimo IR spinduliais sumažėjo nuo 0,27 iki 0,41 %, o apdorojus ekstruzija padidėjo nuo 0,68 iki 0,76 %;
  - 1.6. mažiausiai klampūs buvo ekstruduotų kukurūzų geliai, o už juos nežymiai klampesni buvo IR spinduliais apdorotų kukurūzų geliai, tuo tarpu labiausiai klampūs neapdorotų kukurūzų geliai – šias tendencijas galima pastebėti visose frakcijose (labiausiai klampai I-oji frakcija, o mažiausiai klampai VI-oji frakcija).
2. Didžiausi peroksidų skaičiaus pokyčiai laikymo metu nustatyti ekstruduotuose kukurūzuose – šviežiuose kukurūzuose nustatytas peroksidų skaičius – 1,25 mekv/kg, o po 18 mėnesių laikymo padidėjo 4,56 karto. Neapdorotuose kukurūzuose – laikymo pradžioje buvo nustatyta 0,86 mekv/kg peroksidų, o po 18 mėn laikymo peroksidų padidėjo kiek mažiau lyginant su ekstruduotais - 2,76 karto. 18 mėnesių laikymo metu peroksidų skaičius nepakito IR spinduliais apdorotuose kukurūzuose – laikymo pradžioje jis buvo 1,55 mekv/kg, o laikymo pabaigoje – 1,57 mekv/kg.
3. Elementų pasiskirstymas kukurūzų produktuose priklauso nuo jų frakcijos. Didžiausi Mg, Ca ir Zn kiekiai nustatyti IV-oje frakcijoje. Mn, Cd ir Pb kukurūzų mėginių frakcijose neaptikta.
4. Didžiausias amilazinis aktyvumas nustatytas rauge, ruoštime naudojant *Lactobacillus sanfranciscensis* MR29 bakterijas (227,10 AU/g), o mažiausias - rauge, kuris ruoštas naudojant *Lactobacillus curvatus* 51 bakterijas (47,22 AU/g). Didžiausias fitazinis aktyvumas nustatytas rauge, ruoštime naudojant *Lactobacillus sanfranciscensis* W2 bakterijas (12,10 mg/ml), o mažiausiu - raugas, ruoštas naudojant *Lactobacillus sanfranciscensis* MW15 bakterijas (4,63

mg/ml). Raugo, ruošto iš šalutinių kukurūzų produktų ir atrinktų *L. sanfranciscensis* MR29 bakterijų didžiausia BTR ir mažiausia pH vertė buvo pasiektas po 48 val. atitinkamai 13,3-14,23 ir 3,55-3,82.

5. Skirtingi neapdorotų kukurūzų raugo kiekiai nepakeitė duonos formos išlaikymo rodiklio, jis liko toks pat ir duonoje su 10 % raugo, ir duonoje su 20 % raugo – 0,471, o didėjant ekstruduoatų kukurūzų raugo kiekiui, didėjo ir šis rodiklis (nuo 0,470 iki 0,480). Skirtingi neapdorotų kukurūzų raugo kiekiai neturėjo įtakos duonos savitajam tūriui, tačiau, didėjant ekstruduoatų kukurūzų raugo kiekiui, duonos savitasis tūris padidėjo (nuo 3,22 iki 3,3 cm<sup>3</sup>/g). Didinant raugo kiekį, didėjo ir minkštimo akytumas bei duonos bendrasis titruojamasis rūgštingumas, nepriklausomai nuo kukurūzų apdorojimo būdo. Vertinant tarpusavyje kepinius su kukurūzų raugo priedu, priimtinausia duona buvo su 20 % ekstruduoatų kukurūzų raugo (5,5 balo), o mažiausiu bendru priimtinumu įvertinta duona su 10 % neapdorotų kukurūzų raugo (3,31 balo).
6. Didėjant kukurūzų priedo kiekiui, bandelių savitasis tūris bei minkštimo akytumas mažėjo. Didžiausias savitasis tūris nustatytas bandelėse su 20 % neapdorotų kukurūzų priedu, o mažiausias – bandelėse su 20 % IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu. Didžiausias minkštimo akytumas nustatytas bandelėse su 20 % ekstruduoatų kukurūzų priedu, o mažiausias minkštimo akytumas – bandelėse su 20 % IR spinduliais apdorotų kukurūzų priedu. Didžiausiu priimtinumu vartotojams pasižymėjo bandelės su 20 % ekstruduoatų kukurūzų priedu (4,9 balo), o mažiausiu bendru priimtinumu įvertintos bandelės su 20 % neapdorotų kukurūzų priedu (3,4 balo).

## Bibliografinių nuorodų sąrašas

1. NACIONALINIS MAISTO IR VETERINARIJOS RIZIKOS VERTINIMO INSTITUTAS [interaktyvus, žiūrėta 2017-05-15]. Prieiga per: <http://sena.nmvrvi.lt/laboratoriniai/520>
2. ARENDT, E. K. ir E. ZANNINI. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*. UK, 2013.
3. SALUNKHE, D. K. ir kt. *World Oilseeds. Chemistry, Technology and Utilization*. NY, 1992.
4. NUSS, T. Emily ir kt. *Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2010, pp. 417-436.
5. XU, Z. ir L. R. HOWARD. *Analysis of Antioxidant – Rich Phytochemicals*. UK, 2012.
6. TORBICA, Aleksandra ir kt. *Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour*. *Food Hydrocolloids*. 2010, pp. 626-632.
7. BRITES, Carla ir kt. *Maize-Based Gluten-Free Bread: Influence of Processing Parameters on Sensory and Instrumental Quality*. *Food and Bioprocess Technology*. 2010, pp. 707-715.
8. EDEMA, O. Mojisola. *Functional properties of selected starter cultures for sour maize bread*. *Food Microbiology*. 2008, pp. 616-625.
9. SINGH, M. ir kt. *Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2012, pp. 348-352.
10. *Encyclopedia Britannica* [interaktyvus, žiūrėta 2017-03-02]. Prieiga per: <https://www.britannica.com/topic-browse/Plants/Cereals>.
11. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Maize in human nutrition*. Rome, 1992.
12. HAARD, F. N. ir kt. *Fermented cereals. A global perspective*. Rome, 1999.
13. ŠIULIAUSKAS, A. ir V. LIAKAS. *Ar išmokome auginti kukurūzus?* [interaktyvus, žiūrėta 2017-03-04]. Prieiga per: <http://www.kustodija.lt/lt/info/56/Ar+ismokome+auginti+kukuruzus>
14. *Evolita*. [interaktyvus, žiūrėta 2017-03-02]. Prieiga per: <http://beta.evolita.com/explore/maize-crop-production-in-lithuania-and-other-markets-between-1970-and-2013/2awzg/>.
15. *National corn growers association* [interaktyvus, žiūrėta 2017-03-03]. Prieiga per: <http://www.worldofcorn.com/#world-corn-production>.
16. GWIRTZ, A. J. ir M. N. GRACIA-CASAL. *Processing maize flour and corn meal food products*. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014, pp. 66-75.
17. TAYLOR, S. *Advances in food and nutrition research, Vol. 48*. USA, 2004.
18. ENSMINGER, M. E. ir A. H. ENSMINGER. *Foods & Nutrition encyclopedia, Two Volume Set*. USA, 1993.
19. MIKULSKI, Dawid ir kt. *Phytic acid concentration in selected raw materials and analysis of its hydrolysis rate with the use of microbial phytases during the mashing process*. *Journal of The Institute of Brewing*. 2014, pp. 213-218.
20. DUNN, L. Michael ir kt. *Stability of key micronutrients added to fortified maize flours and corn meal*. *Annals of The New York Academy of Sciences*. 2014, pp. 15-25.
21. BOHN, Lisbeth ir kt. *Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding*. *Journal of Zhejiang University SCIENCE*. 2008, pp. 165-191.
22. CUI ir W. STEVE. *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications*. USA, 2005.
23. SOEST, P. J. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. USA, 1994.
24. PEREZ, S. ir E. BERTOFT. *The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review*. *Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical*. Germany, 2010, pp. 389-420.
25. Van der MAAREL, M. J. E. C. ir H. LEEMHUIS. *Starch modification with microbial alpha-glucanotransferase enzymes*. *Carbohydrate Polymers*. Netherlands, 2012, pp. 116-121.
26. SINGH, B. P. *Industrial Crops and Uses*. UK, 2010.

27. SINGH, N., K.S. SANDHU ir M. KAUR. *Physicochemical properties including granular morphology, amylose content, swelling and solubility, thermal and pasting properties of starches from normal, waxy, high amylose and sugary corn*. 2005.
28. SHRODER, Monika J.A. *Food Quality and Consumer Value: Delivering Food that Satisfies*. 2003.
29. ZOBEL, H.F. *Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes Starch: Chemistry and Technology*. 1984.
30. AHMED, Jasim, B. K. TIWARI, S. H. IMAM, M. A. RAO. *Starch-Based Polymeric Materials and Nanocomposites: Chemistry, Processing, and Applications*. USA, 2012.
31. BANCHATHANAKIJ, R., M. SUPHANTHARIKA. *Effect of different beta-glucans on the gelatinisation and retrogradation of rice starch*. Food Chemistry. 2009, pp. 5-14.
32. XIE, Y.Y., X.P. HU, Z.Y. JIN, X.M. XU, H.Q. CHEN. *Effect of temperature-cycled retrogradation on in vitro digestibility and structural characteristics of waxy potato starch*. International Journal of Biological Macromolecules. China, 2014, pp. 79-84.
33. ATWELL, W.A., L.F. HOOD, D.R. LINEBACK ir kt. *The terminology and methodology associated with basic starch phenomena*. Cereal Foods World. USA, 1988.
34. MUTUNGI, C., L. PASSAUER ir kt. *Debranched cassava starch crystallinity determination by Raman spectroscopy: Correlation of features in Raman spectra with X-ray diffraction and <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy*. Carbohydrate Polymers. Vokietija, 2011, pp. 598-606.
35. BROOKER, D. B., F. W. BAKKER-ARKEMA ir C. W. HALL. *Drying and Storage Of Grains and Oilseeds*. NY, 1992.
36. WANG, L. *Energy Efficiency and Management in Food Processing Facilities*. Washington, 2010.
37. MINNESOTA CORN GROWERS ASSOCIATION. *Corn Milling, Processing and Generation of Co-products*. Minnesota, 2001.
38. BASU, D., F. B. KULIRANI ir D. B. RAY. *Agriculture, Food Security, Nutrition and Health in North-East India*. India, 2006.
39. SHARMA, Savita ir kt. *Effect of incorporation of corn byproducts on quality of baked and extruded products from wheat flour and semolina*. Journal of Food Science and Technology. 2011, pp. 580-586.
40. NAGAJYOTI, P. C. ir kt. *Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review*. Environmental Chemistry Letters. 2010, pp. 199-216.
41. DTU (Technical University of Denmark) FOOD National Food Institute [interaktyvus, žiūrėta 2017-05-02]. Prieiga per: <http://frida.fooddata.dk/?lang=en>
42. SHARMA, Rajesh Kumar ir kt. *Biological effects of heavy metals: An overview*. Journal of Environmental Biology. 2004, pp. 301-313.
43. HAVCK, B.W., G.R. HUBER. *Single screw vs twin screw extrusion*. The American Association of Cereal Chemists. 1989.
44. CASTELLS, M., S. MARIN ir kt. *Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: a review*. Food Additives and Contamination. 2005, pp. 150-157.
45. GUY, R. *Extrusion Cooking: Technologies and Application*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2001.
46. QU, D. ir S.S. WANG. *Kinetics of the formation of gelatinised and melted starch at extrusion cooking conditions*. Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical. 1994, pp. 225-229.
47. BABIČ, J., D. ŠUBARIČ, B. MILIŠEVIČ ir kt. *Influence of trehalose, glucose, fructose, and sucrose on gelatinisation and retrogradation of corn and tapioca starches*. Czech Journal of Food Sciences. 2009, pp. 151-157.
48. WANG, S.S., W.C. CHIANG, B. ZHAO, X. ZHENG ir I.H. KIRN. *Experimental analysis and computer simulation of starch-water interactions during phase transition*. Journal of Food Science. 1991, pp. 121-124.

49. JIN, Z., F. HSIEH ir H.E. HUFF. *Extrusion cooking of cornmeal with soy fibre, salt, and sugar*. Cereal Chemistry. 1994, pp. 227-234.
50. POLITZ, M.L., J.D. TIMPA ir B.P. WASERMAN. *Quantitative measurement of extrusion-induced starch fragmentation products in maize flour using nonaqueous automated gel-permeation chromatography*. Cereal Chemistry. 1994, pp. 532-536.
51. GAUTAM, A. ir G.S. CHOUDHURY. *Screw configuration effects on starch breakdown during twin screw extrusion of rice flour*. Journal of Food Processing and Preservation. 1999, pp. 355-375.
52. BHATNAGAR, S. ir M.A. HANNA. *Amylose–lipid complex formation during single-screw extrusion of various corn starches*. Cereal Chemistry. 1994, pp. 582-587.
53. S. OZCAN, D.S. JACKSON. *Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures*. Cereal Chemistry. 2005, pp. 223-227.
54. CAMIRE, M.E., A. CAMINRE ir K. KRUMHAR. *Chemical and nutritional changes in foods during extrusion*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1990, pp. 35-37.
55. CAMIRE, M. E. *Extrusion cooking. The nutrition handbook for food processors*, 2003.
56. SINGH, B. ir K.S. SEKHON. *Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice*. Food Chemistry. 2007, pp. 198-202.
57. RIAZ, M, M. ASIF ir R. ALI. *Stability of vitamins during extrusion*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2009.
58. EASTMAN, J., F. ORTHOEFER ir S. SOLORIO. *Using extrusion to create breakfast cereal products*. Cereal Foods World. Cereal Foods World.2001.
59. MCALLISTER, T.A., H. SULTANA. *Effects of micronization on the in situ and in vitro digestion of cereal grains*. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2011, pp. 929-939.
60. SANDU, C. *Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis*. Biotechnology Progress. 1986, pp. 109-119.
61. MARTINEZ-BUSTOS, F, S.E. MORALES ir kt. *Effect of infrared baking on wheat flour tortilla characteristics*. Cereal Chemistry. 1999, pp. 491-495.
62. SKJOLDEBRAND, C., C. J. K. HENRY, C. CHAPMAN. *The Nutrition Handbook for Food Processors*. England, 2002.
63. ŽILIČ, S. ir kt. *Effect of micronisation on the composition and properties of the flour from white, yellow and red maize*. Food Technology and Biotechnology. 2010, pp. 198-206.
64. ARNTFIELD, S. D., M. G. SCANLON, L. J. MALCOLMSON, B. WATTS ir kt. *Effect of tempering and end moisture content on the quality of micronized lentils*. Food Research International. 1997, pp. 371-380.
65. BELLIDO, G., S. D. ARNTFIELD, S. CENKOWSKI, M. G. SCANLON. *Effects of micronization pretreatments on the physicochemical properties of navy and black beans (Phaseolus vulgaris L.)*. LWT - Food Science and Technology. 2006, pp. 779-787.
66. SIDDHURAJU, P., H.P.S. MAKKAR ir K. BECKER. *The effect of ionising radiation on anti-nutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food*. Food Chemistry. 2002, pp. 187-205.
67. SHAWRANG, P., A.A. SADEGHI, M. BEHGAR, H. ZARESHAHI ir G. SHAHHO-SEINI. *Study of chemical compositions, anti-nutritional contents and digestibility of electron beam irradiated sorghum grains*. Food Chemistry. 2011, 376-379.
68. KEYA, E.L. ir U. SHERMAN. *Effects of a brief, intense in-frared radiation treatment on the nutritional quality of maize, rice, sorghum, and beans*. Food and Nutrition Bulletin. 1997, pp. 382-387.
69. CHOI, J.I., K.K. JAE, S. PERIASAMY, H.K. JAE, J.P. HYUN, W.B. MYUNG ir W.L. JU. *Comparison of gamma ray and electron beam irradiation on extraction yield, morphological and antioxidant properties of polysaccharides from tamarind seed*. Radiation Physics and Chemistry. Korea, 2009, pp. 605-609.

70. Glenro Inc. *Integrated Energy Delivery Systems*. [interaktyvus, žiūrėta 2017-04-18]. Prieiga per: <http://www.glenro.com/infraredheaters.html>.
71. ŽILIČ, S. ir kt. *Heat processing of soybean kernel and its effect on lysine availability and protein solubility*. Central European Journal of Biology, Serbia, 2006, pp. 572-583.
72. N. SAKAI, T. HANZAWA. *Applications and advances in far-infrared heating in Japan*. Trends in Food Science & Technology. Japan, 1994, pp. 357-362.
73. KRISHNAMURTHY, K, H.K. KHURANA, S. JUN, J. IRUDAYARAJ ir A. DEMIRCI. *Infrared heating in food processing: an overview*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2008, pp. 2-13.
74. AFZAL, T. M., T. ABE ir Y. HIKIDA. *Energy and quality aspects during combined FIR-convection drying of barley*. Journal of Food Engineering. 1999, pp. 177-182.
75. DAS, I., S. K. DAS ir S. BAL. *Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice*. Journal of Food Engineering. 2004, pp. 9-14.
76. ERDOGDU, B. S., I. H. EKIZ, F. ERDOGDU, G. G. ATUNGULU ir kt. *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*. USA, 2010.
77. HEBBAR, H. U., K. H. VISHWANATHAN ir M. N. RAMESH. *Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables*. Journal of Food Engineering. 2004, 557-563.
78. BASMAN, A. ir S. YALCIN. *Quick-boiling noodle production by using infrared drying*. Journal of Food Engineering. 2011, pp. 245-252.
79. TAKEO, T. *Firing and roasting of green tea*. The Food Industry. 1999.
80. KINO, T. *Application of far-infrared heating in roasting of coffee beans*. The Food Industry. 1999.
81. IMESON, A. *Thickening and Gelling Agents for Food*. UK, 1997.
82. SERNA – SALDIVAR, S. O. *Cereal Grains. Properties, Processing, and Nutritional Attributes*. Washington, 2010.
83. ZHANG, Hongmei, Lisi XIE, Wenyan ZHANG, Wenyan ZHOU, Jianyu SU ir Jingchun LIU. *The Association of Biofilm Formation with Antibiotic Resistance in Lactic Acid Bacteria from Fermented Foods*. Journal of Food Safety. 2013, pp. 114-120.
84. DOYLE, M.P., L.R. STEENSON ir J. MENG. *Bacteria in food and beverage production*. 2013, pp. 797-811.
85. CAPLICE, E. ir G.F. FITZGERALD. *Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation*. International Journal of Food Microbiology. 1999, pp. 131-149.
86. SETTANNI, L. ir A. CORSETTI. *Application of bacteriocins in vegetable food biopreservation*. Application of bacteriocins in vegetable food biopreservation. 2008, pp. 123-138.
87. De VUYST, L. ir E. TSAKALIDOU. *Streptococcus macedonicus, a multi-functional and promising species for dairy fermentations*. International Dairy Journal. 2008, pp. 476-485.
88. LASZTITY, Radomir. *Food Quality and Standards Volume III*. UK, 2009.
89. GOBBETTI, M., C.G. RIZZELLO, R. Di CAGNO ir M. De ANGELIS. *How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods*. Food Microbiology. Italy, 2013, pp. 30-40.
90. FLOROU – PANERI, Panagiota, Efterpi CHRISTAKI ir Eleftherios BONOS. *Lactic Acid Bacteria as Source of Functional Ingredients*. Lactic Acid Bacteria - R & D for Food, Health and Livestock Purposes. Greece, 2013.
91. HOUBEN, Andreas ir kt. *Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview*. European Food Research and Technology. 2012, pp. 195-208.
92. MORONI, V. Alice ir kt. *Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue?* Food Microbiology. 2009, pp. 676-684.
93. FALADE, T. Adediwura ir kt. *Improvement of maize bread quality through modification of dough rheological properties by lactic acid bacteria fermentation*. Journal of Cereal Science. 2014, pp. 471-476.

94. RIZZELLO, C.G., R. CODA, F. MAZZACANE, D. MINERVINI ir M. GOBBETTI. *Micronized by-products from debranned durum wheat and sourdough fermentation enhanced the nutritional, textural and sensory features of bread*. Food Research International. Italy, 2011, pp. 304-313.
95. SANDBERG, A.S. ir T. ANDLID. *Phytogenic and microbial phytase in human nutrition*. International Journal of Food Science + Technology. 2002, pp. 823-833.
96. LOPEZ, H.W., F. LEENHARDT, C. COUDRAY ir C. REMESY. *Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition*. International Journal of Food Science + Technology. 2002, pp. 727-739.
97. RAMAKRISHNAN, U. *Prevalence of micronutrient malnutrition worldwide*. Nutrition Reviews. USA, 2002, pp. 46-52.
98. MARTINEZ, C., G. ROS, M.J. PERIAGO, G. LOPEZ, J. ORTUNO ir F. RINCON. *Phytic acid in human nutrition*. 1996.
99. HAROS, M., M. BIELECKA ir Y. SANZ. *Phytase activity as a novel metabolic feature in Bifidobacterium*. FEMS Microbiology Letters. 2005, pp. 231-239.
100. DI CAGNO, R., C.G. RIZZELLO, M. De ANGELIS ir kt. *Use of selected sourdough strains of Lactobacillus for removing gluten and enhancing the nutritional properties of gluten-free bread*. Journal of Food Protection. Italy, 2008, pp. 1491-1495.
101. RIZZELLO, C.G., L. NIONELLI, R. CODA ir kt. *Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ*. Food Chemistry. Italy, 2009, pp. 1079-1089.
102. RIZZELLO, C.G., L. NIONELLI, R. CODA, R. Di CAGNO ir M. GOBBETTI. *Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread*. European Food Research and Technology. Italy, 2009, pp. 645-654.
103. McCARTER, J. D. ir S. G. WITHERS. *Mechanisms of enzymatic glycoside hydrolysis*. Current Opinion in Structural Biology. 1994, pp. 885-892.
104. MAEDA, T., T. HASHIMOTO, M. MINODA, S. TAMAGAWA ir N. MORITA. *Effects of mutant thermostable alpha-amylases on rheological properties of wheat dough and bread*. Cereal Chemistry. 2003, pp. 722-727.
105. ANDERSEN, B. N., J. SCHEEL, S. J. RUNE ir H. WORNING. *Exocrine pancreatic function in patients with dyspepsia*. Hepatogastroenterology. 1982, pp. 35-37.
106. LST 1492:1997 Duona ir pyrago kepiniai. Drėgmės kiekio nustatymo metodai.
107. LST EN ISO 3960:2010 Gyvūniniai ir augaliniai riebalai ir aliejus. Peroksidų skaičiaus nustatymas.
108. Xiao, Z.; Storms, R.; Tsang, A. 2006. *A quantitative starch-iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities*. Analytical Biochemistry, 351(1), pp. 146–148.
109. Nuobariene, L.; Hansen, Å.S.; Jespersen, L.; Arneborg, N. 2011. *Phytase-active yeasts from grain-based food and beer*. Journal of Applied Microbiology, 110, pp. 1370–1380.
110. AACCC 72-10 Bread volume measurement by the method of rapeseed displacement.
111. LST 1442:1996 Duona ir pyrago kepiniai. Akytumo nustatymas.
112. LST 1553:1998 Miltiniai kepiniai ir konditerijos gaminiai. Rūgštingumo ir šarmingumo nustatymo metodai.
113. LST ISO 4121:2004 Juslinė analizė. Kiekybinių atsakų skalių taikymo nurodymai.
115. MERCIER, C. ir P. FEILLET. *Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products*. Cereal Chemistry. 1975, pp. 283-297.
116. MERCIER ir kt. *Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch*. Cereal Chemistry. 1980.
117. COLLONA ir MERCIER. *Flow, mixing and residence time distribution of maize starch within a twin-screw extruder with a longitudinally-split barrel*. Journal of Cereal Science. 1983, pp. 115-125.



118. HO, C. T. ir M. T. IZZO. *Lipid protein and lipid-carbohydrate interaction during extrusion*. 1992.
119. ELIASSON, Ann-Charlotte. *Starch in Food: Structure, Function and Applications*. 2004.
120. SINGH, S., S. GAMLATH ir L. WAKELING. *Nutritional aspects of food extrusion: a review*. International Journal of Food Science + Technology. 2007, pp. 916-929.
121. KEYA, E.L. ir U. SHERMAN. *Effects of a brief, intense infrared radiation treatment on the nutritional quality of maize, rice, sorghum and beans*. Food and nutrition bulletin. 1997, pp. 382-387.
122. FASINA, O.O., R.T. TYLER, M.D. PICKARD ir G.H. ZHENG. *Infrared heating of hullless and pearled barley*. Journal of Food Processing and Preservation. 1999, pp. 135-151.
123. KASHANI, G. G. ir L. R. G. VALADON. *Effects of gamma irradiation on the lipids, carbohydrates and proteins of Iranian pistachio kernels*. International Journal of Food Science + Technology. 1984, pp. 631-638.
124. ARCE-ARCE, Estrella Edith ir kt. *Effect of infrared heating on the physicochemical properties of common bean (Phaseolus vulgaris L.) flour*. CyTA – Journal of Food. 2013, pp. 242-248.
125. SARAWONG, Chonthira ir kt. *Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour*. Food Chemistry. 2013, pp. 33-39.
126. PUVAČA, Nikola ir kt. *Application of the process of extrusion and micronisation and their influence on nutritive value of feedstuffs*. International Conference on BioScience: Biotechnology and Biodiversity. 2012, pp. 197-202.
127. DEEPA, Chandran ir Hunglur UMESH. *Influence of micronization on physicochemical properties of maize grains*. Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical. 2017.
128. MWANGWELA, Agnes M. ir kt. *Cowpea cooking characteristics as affected by micronisation temperature: a study of the physicochemical and functional properties of starch*. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2007, pp. 399-410.
129. GANI, Adil ir kt. *Effect of g-irradiation on granule structure and physicochemical properties of starch extracted from two types of potatoes grown in Jammu & Kashmir, India*. LWT - Food Science and Technology. 2014, pp. 239-246.
130. BILAL, Ahmad Ashwar ir kt. *Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties of alkali-extracted rice starch*. Radiation Physics and Chemistry. 2014, pp. 37-44.
131. REDDY, Chagam Koteswara ir kt. *Modification of poovan banana (Musa AAB) starch by c-irradiation: effect on in vitro digestibility, molecular structure and physico-chemical properties*. Food Science + Technology. 2015, pp. 1778-1784.
132. LAWTON, B. T., G. A. HENDERSON ir E. J. DERLATKA. *The effects of extruder variables on the gelatinization of corn starch*. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 1972, pp. 168-172.
133. FEILLET, C. ir P. *Modification of carbohydrate component by extrusion cooking of cereal product*. Cereal Chemistry. 1975, pp. 283-297.
134. TRAN, Q. D. ir kt. *Lysine reactivity and starch gelatinization in extruded and pelleted canine diets*. Animal Feed Science and Technology. 2007, pp. 162-168.
135. VASANTHAN, T., J. YEUNG ir R. HOOVER. *Dextrinization of starch in barley flours with thermostable alpha-amylase by extrusion cooking*. Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical. 2001, pp. 616-622.
136. LEE, Y. ir kt. *Effects of gelatinization and moisture content of extruded starch pellets on morphology and physical properties of microwave-expanded products*. Cereal Chemistry. 2000, pp. 769-773.

137. ILO, S., U. TOMSCHIK ir kt. *The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits*. LWT - Food Science and Technology. 1996, pp. 593-598.
138. BHATTACHARYA, M. ir M. A. HANNA. *Kinetics of Starch Gelatinization During Extrusion Cooking*. Journal of Food Science. 1987, pp. 764-766.
139. GOVINDASAMY, S. ir kt. *High moisture twin-screw extrusion of sago starch: Influence on granule morphology and structure*. Carbohydrate Polymers. 1996, pp. 275-286.
140. CHIANG, B. Y. ir J. A. JOHNSON. *Gelatinization of Starch in Extruded Products*. Cereal Chemistry. 1977, pp. 436-443.
141. ARNTFIELD, S. D. ir kt. *Effect of tempering and end moisture content on the quality of micronized lentils*. Food Research International. 1997, pp. 371-380.
142. BELLIDO, G. ir kt. *Effects of micronization pretreatments on the physicochemical properties of navy and black beans*. LWT - Food Science and Technology. 2006, pp. 779-787.
143. YANG, S. C. ir kt. *Starch gelatinization and physical quality of pea flakes in canine dinners as affected by soaking, steam treatment and infrared radiation*. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2008, pp. 310-315.
144. YAGCI, S, F. GOGUS. *Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food by products*. Journal of Food Engineering. 2008, pp. 122-132.
145. MASON, W. R. ir R. C. HOSENEY. *Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch*. Cereal Chemistry. 1986, pp. 436-441.
146. ANDERSON, R.A., H.F. CONWAY ir A.J. PEPLINSKI. *Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming*. Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical. 1970, pp. 130-135.
147. COLONNA, P., J. TAYEB ir kt. *Extrusion cooking of starch and starchy products*. Extrusion cooking. 1989, pp. 247-319.
148. DING, Q.B. ir kt. *The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks*. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. 2006, pp. 142-148.
149. LIN, S., H.E. HUFF ir F. HSIEH. *Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog*. Journal of Food Science. 2002, pp. 1066-1072.
150. GOMEZ, M.H. ir J.M. AGUILERA. *Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn*. Journal of Food Science. 1983, pp. 378-381.
151. GUJSKA, E. Gujska ir K. KHAN. *Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans*. Journal of Food Science. 1990, pp. 466-469.
152. SINGH, B. ir kt. *Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice*. Food Chemistry. 2007, pp. 198-202.
153. RAILIENĒ, Marija, Aušra ČIPLIENĒ. *Kviečių grūdų kokybės rodiklių įtaka tešlos fizikinėms ir technologinėms savybėms*. 2010.
154. ZHANG, Caike, Hui ZHANG ir kt. *Physical, Functional, and Sensory Characteristics of Cereal Extrudates*. International Journal of Food Properties. 2014, pp. 1921-1933.
155. ROUSTA, M., A.A. SADEGHI ir kt. *Effect of Gamma, Electron Beam and Infrared Radiation Treatment on the Nutritional Value and Anti-Nutritional Factors of Sorghum Grain*. Iranian Journal of Applied Animal Science. 2014, pp. 723-731.
156. BALFOUR, Deepika ir kt. *Development and quality evaluation of extruded fortified corn snack*. International Journal of Food and Nutritional Sciences. 2014.
157. KIRBY, A. R. ir kt. *An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits*. Journal of Food Engineering. 1988, pp. 247-272.

158. PARAS, Sharma Hardeep ir kt. *Extrusion of Hulled Barley Affecting  $\beta$ -Glucan and Properties of Extrudates*. Food and Bioprocess Technology. 2012, pp. 1374-1389.
159. LAZOU, Andriana ir kt. *Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks*. Journal of Food Engineering. 2010, pp. 392-408.
160. GANDHI, Neeraj ir kt. *Study of extrusion behaviour and porridge making characteristics of wheat and guava blends*. Journal of Food Science and Technology. 2014, pp. 3030-3036.
161. DING, Q.B. ir kt. *The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-expanded snacks*. Journal of Food Engineering. 2005, pp. 283-289.
162. ONYANGO, C, H. NOETZOLD ir kt. *Proximate composition and digestibility of fermented and extruded uji from maize-finger millet blend*. LWT - Food Science and Technology. 2004, pp. 827-832.
163. RUPESH, S. Cavan ir kt. *Sourdough Technology—A Traditional Way for Wholesome Foods: A Review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2011, pp. 170-183.
164. WEN, L.F., P. RODIS ir kt. *Starch fragmentation and protein insolubilization during twin screw extrusion of corn*. Cereal Chemistry. 1990, pp. 268-275.
165. SINGH, Shivenda ir kt. *Nutritional aspects of food extrusion: a review*. Food Science + Technology. 2007, pp. 916-929.
166. ILO, S. ir kt. *Role of lipids in the extrusion cooking processes*. 2000, pp. 97-110.
167. DING, Chao, Ragan KHIR ir kt. *Improvement in Shelf Life of Rough and Brown Rice Using Infrared Radiation Heating*. Food and Bioprocess Technology. 2015, pp. 1149-1159.
168. MWANGWELAA, A. M. ir kt. *Effect of micronisation temperature (130 and 170 °C) on functional properties of cowpea flour*. Food Chemistry. 2007, pp. 650-657.
169. BATHAM, J. ir kt. *Effect of Micronisation on properties of Buckwheat Seed (*Fagopyrum esculentum*)*. International Journal of Agricultural and Food Science. 2013, pp. 22-27.
170. PARAS, Sharma ir S. L. KOTARI. *Barley: Impact of processing on physicochemical and thermal properties—A review*. Food Reviews International. 2017, pp. 359-381.
171. KAUR, Gurkirat ir kt. *Comparative Study on Functional, Rheological, Thermal, and Morphological Properties of Native and Modified Cereal Flours*. International Journal of Food Properties. 2016, pp. 1949-1961.
172. DTU (Technical University of Denmark) FOOD National Food Institute [interaktyvus, žiūrėta 2017-05-02]. Prieiga per: <http://frida.fooddata.dk/?lang=en>
173. ISMAILOGLU, S. O. ir kt. *Effects of infrared heat-moisture treatment on physicochemical properties of corn starch*. Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical. 2015, pp. 528-539.
174. RAZZAQ, Muhammad Rizwan ir kt. *Effect of extruder variables on chemical characteristics of Maize (*Zea mays*. L) extrudates*. Pakistan Journal of Food Sciences. 2012, pp. 108-116.
175. ALONSO, R. ir kt. *The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and kidney bean seed meals*. Animal Feed Science and Technology. 2001, pp. 1-13.
176. WANI, S.A. ir P. KUMARI. *Effect of extrusion on the nutritional, antioxidant and microstructural characteristics of nutritionally enriched snacks*. Journal of Food Processing and Preservation. 2015, pp. 166-173.
177. SMITA, H. Panda ir kt. *Amylolytic Lactic Acid Bacteria Microbiology and Technological Interventions in Food Fermentations*. Fermented foods. Part 1. Biochemistry & Biotechnology, Edition: 1st Edn. pp.149-165
178. NWABUEZE, T.U. *Effect of process variables on trypsin inhibitor activity (TIA), phytic acid and tannin content of extruded African breadfruit–corn–soy mixtures: A response surface analysis*. LWT. 2007, pp. 21–29.
179. DE ANGELIS, Maria ir kt. *Phytase activity in sourdough lactic acid bacteria: purification and characterization of a phytase from *Lactobacillus sanfranciscensis* CBI*. International Journal of Food Microbiology. 2003, pp. 259–270.

180. REALE Anna ir kt. *The Importance of Lactic Acid Bacteria for Phytate Degradation during Cereal Dough Fermentation*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007, pp. 2993-2997.
181. CIZEIKIENE, Dalia, Grazina Juodeikiene, Elena Bartkiene, Jonas Damasius ir Algimantas Paskevicius. *Phytase activity of lactic acid bacteria and their impact on the solubility of minerals from wholemeal wheat bread*. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2015, pp. 736-742.
182. EIDUKONYTĖ, Dalia. *Fitaziniu aktyvumu pasižyminčių pieno rūgšties bakterijų išskyrimas, genetinis identifikavimas ir pritaikymas kvietinės duonos gamybai*. 2010.