

Optimiranje sastava i cijene brašna za proizvodnju keksa modeliranjem u programu LINDO

Berki, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:441749>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#) / [Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**

REPOZITORIJ

PTF

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Ivana Berki

OPTIMIRANJE SASTAVA I CIJENE BRAŠNA ZA PROIZVODNJU KEKSA
MODELIRANJEM U PROGRAMU LINDO

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA		
DIPLOMSKI RAD		
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek Zavod za procesno inženjerstvo Katedra za modeliranje, optimiranje i automatizaciju Franje Kuhača 20, 31000 Osijek, Hrvatska		
Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo		
Znanstveno područje:	Biotehničke znanosti	
Znanstveno polje:	Prehrambena tehnologija	
Nastavni predmet:	Modeliranje i upravljanje u prehrambeno-tehnološkim procesima	
Tema rada	je prihvaćena na VII. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2022./2023. održanoj 2. svibnja 2023. godine.	
Mentor:	prof. dr. sc. <i>Damir Magdić</i>	
Komentor:	-	
Optimiranje sastava i cijene brašna za proizvodnju keksa modeliranjem u programu LINDO <i>Ivana Berki, 0113144449</i>		
<p>Sažetak: Kultivari pšenice korišteni u ovom radu uzgajani su i analizirani na Poljoprivrednom institutu u Osijeku, a korišteno je 12 različitih kultivara. Matematički modeli u programu LINDO izrađeni su na temelju rezultata mjerenja svojstava kakvoće kultivara pšenice. Rezultati su izmjereni na farinografu, ekstenzografu i amilografu. U modele su ugrađeni minimalni i maksimalni zahtjevi konditorske industrije za svojstva brašna potrebna za proizvodnju keksa. Modeliranjem sastava smjese analizirane su kombinacije brašna različitih sastava te su određene najjeftinije i najskuplje recepture brašna za proizvodnju keksa uz zadovoljavanje zahtjeva industrije. Modeliranjem je izračunato kako su minimalni zahtjevi industrije zadovoljeni i kada je u silosu dostupan samo jedan kultivar pšenice. Niti jedna kombinacija kultivara niti kultivari pojedinačno ne mogu zadovoljiti maksimalne zahtjeve industrije. U radu je uspješno provedeno optimiranje sastava i cijene smjese brašna prema zahtjevima industrije. Utvrđene su značajne financijske razlike između mogućih maksimalnih i minimalnih troškova za pripremu tražene smjese brašna. Optimirani sastavi smjese brašna omogućuju povećanje ekonomske dobiti, a dodatno i smanjenje količine aditiva u smjesi.</p>		
Ključne riječi:	Optimiranje, pšenično brašno, keks, modeliranje, LINDO	
Rad sadrži:	41 stranica	
	5 slika	
	15 tablica	
	1 prilog	
	12 literaturnih referenci	
Jezik izvornika:	Hrvatski	
Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:		
1.	prof. dr. sc. <i>Tihomir Moslavac</i>	predsjednik
2.	prof. dr. sc. <i>Damir Magdić</i>	član-mentor
3.	prof. dr. sc. <i>Sandra Budžaki</i>	član
4.	dr. sc. <i>Daniela Horvat, zn. savj. tr. zv.</i>	zamjena člana
Datum obrane:	18. rujanj 2023.	
Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.		

BASIC DOCUMENTATION CARD	
GRADUATE THESIS	
University Josip Juraj Strossmayer in Osijek Faculty of Food Technology Osijek Department of Process Engineering Sub department of Modeling, Optimization and Automation Franje Kuhača 20, HR-31000 Osijek, Croatia	
Graduate program Food Engineering	
Scientific area:	Biotechnical sciences
Scientific field:	Food technology
Course title:	Modeling and management in food technology processes
Thesis subject	was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VII. held on May, 2, 2023.
Mentor:	<i>Damir Magdić</i> , PhD, tenured prof.
Technical assistance:	-
Optimization of the Composition and Price of Flour for the Production of Biscuit by Modelling in the LINDO Program <i>Ivana Berki, 0113144449</i>	
<p>Summary: The wheat cultivars used in this work were grown and analyzed at the Agricultural Institute in Osijek, and 12 different cultivars were used. Mathematical models in the LINDO program were created based on the results of measuring the quality properties of wheat cultivars. The results were measured on a farinograph, extensograph and amylograph. The models incorporate the minimum and maximum requirements of the confectionery industry for the properties of flour required for the production of biscuits. By modeling the composition of the mixture, combinations of flour with different compositions were analyzed and the cheapest and most expensive recipes of flour for the production of biscuits were determined while meeting the requirements of the industry. Through modeling, it was calculated that the minimum requirements of the industry are met even when only one cultivar of wheat is available in the silo. No combination of cultivars or cultivars individually can meet the maximum demands of the industry. The work successfully optimized the composition and price of the flour mixture according to industry requirements. Significant financial differences were determined between the possible maximum and minimum costs for the preparation of the requested flour mixture. The optimized composition of the flour mixture enables an increase in economic profit, and additionally a reduction in the amount of additives in the mixture.</p>	
Key words:	Optimization, wheat flour, biscuit, modelling, LINDO
Thesis contains:	41 pages
	5 figures
	15 tables
	1 supplement
	12 references
Original in:	Croatian
Defense committee:	
1.	<i>Tihomir Moslavac</i> , PhD, tenured prof. chair person
2.	<i>Damir Magdić</i> , PhD, tenured prof. supervisor
3.	<i>Sandra Budžaki</i> , PhD, full prof. member
4.	<i>Daniela Horvat</i> , PhD, tenured sci.adv. stand-in
Defense date:	September 29, 2023.
Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.	

Veliko hvala mentoru prof.dr.sc. Damiru Magdiću na prenesenom znanju, strpljivosti, ljubaznosti, brojnim savjetima i podršci. Usmjerali ste me ka inženjerskom načinu razmišljanja i naučili me kako da analiziram, rješavam probleme i pristupam istima.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima i baki za svu ljubav, strpljenje i podršku tijekom čitavog školovanja.

Hvala Viktoru na svakodnevnoj podršci, vjerovanju u moj uspjeh i čuvanju leđa u dobru i zlu.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	3
2.1. PŠENICA I KULTIVARI PŠENICE.....	4
2.2. MLINARSKI DIO POSLA.....	5
2.3. PŠENIČNO BRAŠNO.....	5
2.3.1. Brabenderov farinograf.....	7
2.3.2. Brabenderov ekstenzograf.....	8
2.3.3. Brabenderov amilograf.....	8
2.3.4. Broj padanja.....	9
2.4. KEKS.....	9
2.5. ZAHTJEVI KONDITORSKE INDUSTRIJE.....	10
2.6. LINDO.....	11
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	15
3.1. ZADATAK.....	16
3.2. MATERIJAL I METODE.....	16
3.2.1. Materijali.....	16
3.2.1.1. Zahtjevi proizvođača keksa.....	17
3.2.2. Metode.....	18
3.2.2.1. Izmjerene vrijednosti svojstava kakvoće brašna.....	18
3.2.2.2. Kreiranje matematičkih modela u LINDO programu.....	20
4. REZULTATI.....	23
4.1. OPTIMIRANJE SASTAVA SMJESE BRAŠNA ZA PROIZVODNJU KEKSA.....	24
5. RASPRAVA.....	31
6. ZAKLJUČCI.....	33
7. LITERATURA.....	37
8. PRILOZI.....	39

Popis oznaka, kratica i simbola

Oznake kultivara pšenice i njihov puni naziv

BE	Bezostaja 1
SR	Srpanjka
DE	Demetra
SZ	Super žitarka
LU	Lucija
AL	Alka
RE	Renata
KA	Katarina
FE	Felix
U1	Osječka šišulja
SA	Sana
DI	Divana

Oznake, kratice i njihovo značenje

MIN	Najmanja vrijednost u analiziranom skupu podataka
AVG	Prosječna vrijednost u analiziranom skupu podataka
MAX	Najveća vrijednost u analiziranom skupu podataka
KV	Koeficijent varijabilnosti u analiziranom skupu podataka
< AVG	Broj vrijednosti u analiziranom skupu podataka koje su manje od prosječne
> AVG	Broj vrijednosti u analiziranom skupu podataka koje su veće od prosječne
WG	Udio vlažnog glutena u brašnu (eng. <i>Wet gluten</i>) (%)
WA	Upijanje vode (eng. <i>Water absorption</i>) (%)
R	Otpor tijesta rastezanju (eng. <i>Dough resistance</i>) (min)
DS	Stupanj omekšanja tijesta (eng. <i>Dough degree of softening</i>) (FU)
EXT	Rastezljivost tijesta (eng. <i>Dough extensibility</i>) (mm)
R MAX	Maksimalni otpor tijesta (eng. <i>Dough resistance of curve maximum</i>) (EU)

1. UVOD

Pšenica je jedna od prvih uzgajanih kultura koja se zahvaljujući svojoj otpornosti i sposobnosti prilagođavanja različitim zemljišnim te klimatskim uvjetima ustalila kao neizostavan dio ljudske prehrane. Iako vrlo otporna, ova jednogodišnja biljka prošla je kroz brojne procese selekcije i uzgoja kako bi se razvili različiti kultivari, svaki sa svojim karakteristikama i prednostima. Raznolikost kultivara pšenice dovodi do postojanja različitih tipova pšeničnog brašna koji se ovisno o svojstvima koriste za proizvodnju različitih prehrambenih proizvoda. Svojstva tijesta i brašna određuju se farinografskim, ekstenzografskim i amilografskim mjerenjem, a o njima ovisi primjenjivost brašna za proizvodnju pojedinih proizvoda.

Različiti prehrambeni proizvodi zahtijevaju različita svojstva pšeničnog brašna. Zahtjevi proizvođača mogu biti definirani zakonodavstvom ili recepturama proizvođača. Stoga je vrlo važno obratiti pažnju na karakteristike kultivara brašna budući da kvaliteta kultivara utječe na krajnji proizvod i prihode tvrtke. Iako su financijski izdatak, aditivi se često dodaju kako bi poboljšali svojstva brašna i kvalitetu proizvoda. Uporaba aditiva mogla bi se smanjiti ili potpuno izbjeći izborom namjenske sirovine što bi pojeftinilo recepture.

Veliku važnost u proizvodnji proizvoda na bazi brašna ima proces optimiranja. Optimiranjem težimo zadovoljiti potrebe potrošača što kvalitetnijim proizvodom, ali i proces proizvodnje učiniti što ekonomičnijim. Pri izradi diplomskog rada u svrhu optimiranja sastava smjese brašna za proizvodnju keksa korišten je program LINDO. Koristeći se linearnim programiranjem i Simpleks metodom, LINDO je pronašao primjenu u procesu proizvodnje, upravljanju zalihama, miješanju sastojaka i distribuciji proizvoda.

Cilj ovog rada je u LINDO programu izraditi matematički model, njime analizirati kombinacije kultivara različitih sastava te odrediti najjeftiniji i najskuplji način namješavanja smjese brašna za proizvodnju keksa. Pri optimiranju je korišteno 12 različitih kultivara pšenice s Poljoprivrednog instituta u Osijeku.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. PŠENICA I KULTIVARI PŠENICE

Pšenica je jedna od prvih uzgajanih poljoprivrednih kultura koje su ljudi obrađivali, a uzgoj je započeo između 10 000 i 8000 godina prije nove ere na području doline rijeka Eufkrat i Tigris (Finnie i Atwell, 2016). Od drevnih civilizacija pa sve do današnjih dana, pšenica je ostala neizostavan dio prehrane ljudi diljem svijeta zahvaljujući svojoj otpornosti i sposobnosti prilagođavanja različitim klimatskim i zemljišnim uvjetima. Prema podacima FAO, prognoza za svjetsku proizvodnju pšenice u 2023. godini iznosi 786 milijuna tona, što bi bio drugi najveći ostvareni rezultat i samo 1,3% manje od 2022. godine.

Ova jednogodišnja biljka pripada vrsti *Triticum* koja se ubraja u porodicu *Poaceae* (trave), a može biti ozima i jara (Ačkar, 2010). Zlatnožute je boje te može narasti od 60 do 120 cm što ovisi o genetskim svojstvima vrste, količini gnojiva, količini vlage i dužini dnevnog svjetla. Pšenica se sastoji od korijena, stabljike s listovima i klasa, no za prehranu i proizvodnju brašna isključivo se koristi samo zrno.

Tijekom godina razvijale su se različite sorte pšenica s različitim karakteristikama koje su doprinijele razvoju prehrambene industrije i proizvoda od pšenice. Mnogobrojne razvijene sorte mogu se podijeliti u tri osnovne skupine s obzirom na tehnološku kvalitetu zrna, a to su poboljšivači, krušne sorte i osnovne sorte.

Prva kultivirana vrsta pšenice pogodna za ekološki uzgoj bila je einkorn (*Triticum monococcum* L.) (Gjore i sur., 2018). Iako su prednosti einkorn pšenice manje u usporedbi s drugim vrstama pšenice, brašno ove pšenice se zbog niskog sadržaja glutena može koristiti za izradu keksa (Gjore i sur., 2018). Danas se najčešće uzgajaju tri vrste pšenice – *Triticum aestivum*, *Triticum compactum*, *Triticum durum* (Finnie i Atwell, 2016). *T.aestivum* je obična (meko) pšenica čije brašno se koristi za dobivanje kruha najbolje kakvoće. *T. compactum* predstavlja patuljastu pšenicu s kratko zbijenim klasom čije je brašno pogodno za proizvodnju kolača i pita zbog manjeg udjela proteina. Nadalje, *T.durum* je tvrda pšenica, a zbog visokog udjela proteina važna je u proizvodnji tjestenine.

Budući da se za različite industrije upotrebljavaju različite sorte pšenice, karakteristike kvalitetne krušne (tvrde) i kvalitetne konditorske (meke) pšenice potpuno se razlikuju. Kod krušne pšenice naglasak se stavlja na količinu i kvalitetu bjelančevina zrna dok je kod konditorske pšenice naglasak na kakvoći škroba (Jošt i sur., 2006).

2.2. MLINARSKI DIO POSLA

Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica (2022), mlinski proizvodi dobivaju se od očišćenih, oljuštenih te pripremljenih žitarica koristeći postupke usitnjavanja, mljevenja i razvrstavanja. Navedenim načinom dobivaju se prekrupa, krupica i brašno.

Kako bismo dobili brašno odgovarajuće kvalitete, nužno je pravilno provesti mlinarski posao koji obuhvaća postupke pripreme pšenice za meljavu, usitnjavanja i razvrstavanja usitnjenog materijala (mljevenje) te skladištenja i isporuke brašna. Tijekom procesa pripreme pšenice potrebno je odabrati zrna najbolje kvalitete, ukloniti nepoželjne primjese u zrnenoj masi te očistiti zrno različitim tehnikama. Osim navedenih postupaka, zrno se podvrgava i procesu kondicioniranja čime se poboljšava kvaliteta brašna, ali i povećava prinos mljevenja budući da se zrna lakše melju te se proces meljave odvija s manje utrošene energije. Nakon procesa kondicioniranja, zrno je potrebno osušiti na željeni postotak vlage kako bi se izbjegao proces klijanja, ali i razvoj nepoželjnih mikroorganizama. Zrno se nakon pripreme podvrgava postupku meljave, odnosno usitnjavanja i razvrstavanja usitnjenog materijala čime se postiže željena kvaliteta i tekstura brašna. Nakon što je brašno poprimilo odgovarajuću veličinu, čistoću, vlažnost i kvalitetu, skladišti se u silosima odgovarajuće temperature i vlažnosti.

Tako dobiveni mlinski proizvodi u skladu s Pravilnikom o žitaricama i proizvodima od žitarica (2022) moraju ispunjavati standarde kvalitete poput zahtjeva da ne sadrže više od 15 % te da boja, miris i okus moraju odgovarati vrsti žitarice.

2.3. PŠENIČNO BRAŠNO

Najvažniji proizvod pšenice, pšenično brašno ključni je sastojak svakodnevne prehrane budući da je baza za proizvodnju širokog spektra proizvoda. Raznolikost kultivara pšenice dovodi do postojanja različitih tipova brašna koji posjeduju specifična svojstva i prilagođavaju se zahtjevima industrije. Različite industrije teže različitim svojstvima brašna ovisno o tome da li na tržište žele plasirati kruh, različita peciva, lisnato tijesto ili pak neke od proizvoda konditorske industrije. Vrste pšenice, specifične karakteristike i primjena pri proizvodnji različitih namirnica prikazana je u **Tablici 1**.

Tablica 1 Vrste pšenice, osnovne karakteristike i primjena u industriji (Finnie i Atwell, 2016)

Vrste pšenice	Osnovne karakteristike	Primjena u industriji
Čvrsta crvena zimska pšenica	Visok sadržaj proteina, čvrst gluten, visoka apsorpcija vode	Kruh i srodni proizvodi
Mekana crvena zimska pšenica	Nizak sadržaj proteina, slab gluten, niska apsorpcija vode	Keksi, torte, kolači, kore za pite, krekeri i srodni proizvodi
Čvrsta crvena proljetna pšenica	Vrlo visok sadržaj proteina, slab gluten, niska apsorpcija vode	Kruh, peciva i srodni proizvodi
Čvrsta bijela pšenica	Visok sadržaj proteina, čvrsti gluten, visoka apsorpcija vode	Kruh i srodni proizvodi
Mekana bijela pšenica	Nizak sadržaj proteina, slab gluten, niska apsorpcija vode	Keksi, krekeri, vafli i srodni proizvodi
Durum pšenica	Visok sadržaj proteina, čvrsti gluten, visoka apsorpcija vode	Tjestenina

Iako su zahtjevi i želje industrije jasno definirani, ponekad su potrebni različiti aditivi kako bi se željene karakteristike ulazne sirovine unaprijedile. S obzirom na to da aditivi predstavljaju dodatni trošak u proizvodnji, bolja solucija bila bi kvalitetniji odabir ulazne sirovine.

Pri procjeni kvalitete brašna važnu ulogu kao znanost ima reologija. Primjenom tehnika reologije moguće je ispitati utjecaj sastojaka brašna i aditiva na ponašanje tijesta tijekom pečenja (Hadnađev i sur., 2011). Osim navedene prednosti, primjenom reologije određuje se i optimalna kvaliteta brašna za proizvodnju različitih namirnica. Uređaji kojima se provode reološka ispitivanja su Brabenderov farinograf, Brabenderov amilograf te Brabenderov ekstenzograf.

Brabenderov farinograf

Jedan od najprihvaćenijih uređaja za mjerenje fizičkih svojstava brašna i tijesta je Brabenderov farinograf koji mjeri i bilježi mehaničku otpornost tijesta tijekom procesa miješanja i gnječenja (Hadnađev i sur., 2011). Brabenderov farinograf radi na principu jednoličnog intenzivnog miješanja brašna koje je temperirano na temperaturu od 30°C i u koje je dodana odgovarajuća količina vode (Hadnađev i sur., 2011).

S farinograma je moguće očitati sljedeće parametre:

- Sposobnost upijanja vode potrebne za zamjes tijesta do konzistencije koja u farinografu odgovara 500 farinografskih jedinica (FJ) (Hadnađev i sur., 2011). Na upijanje vode utječu svojstva glavnih komponenata brašna – glutena i škroba. Odnosno, visoka apsorpcija vode u kombinaciji s niskim stupnjem omekšavanja ukazuje na brašno koje je kvalitetno dok visoka apsorpcija vode u kombinaciji s visokim stupnjem omekšavanja ukazuje na lošu kvalitetu brašna (Hadnađev i sur., 2011).
- Vrijeme razvoja tijesta predstavlja proteklo vrijeme u minutama od početka miješanja do postizanja maksimalne konzistencije (Hadnađev i sur., 2011).
- Stabilnost tijesta je parametar koji je također izražen u minutama, a označava vrijeme tijekom kojeg se maksimalna konzistencija ne mijenja ili se vrlo malo mijenja (Hadnađev i sur., 2011).
- Rezistencija tijesta izražena u minutama opisuje otpornost tijesta prema miješanju te se dobiva kao suma vremena razvoja i stabilnosti tijesta
- Stupanj omekšanja (FJ) opisan kao udaljenost između središta krivulje na kraju vremena analize i središnje linije koja prolazi kroz maksimum krivulje (Hadnađev i sur., 2011).
- Elastičnost tijesta koju definira širina krivulje (Stojanović, 2019).
- Kvalitetna grupa koja je povezana s kvalitetnim brojem. Kvalitetni broj čini površina ispod krivulje konzistencije i linije koja je povučena kroz sredinu farinograma (Katić, 2019)

Osim navedenoga, farinograf također omogućuje praćenje utjecaja aditiva što doprinosi optimizaciji sastava brašna (Hadnađev i sur., 2011).

Brabenderov ekstenzograf

Primjenu u reološkim ispitivanjima svojstava tijesta pronašao je i Brabenderov ekstenzograf. Ovaj uređaj pruža informacije o otporu tijesta na razvlačenje do kidanja. Otpor tijesta izražen je u ekstenzografskim jedinicama (EJ). Tijesto je potrebno zamijesiti na farinografu te oblikovati i staviti u kalupe na odmaranje određeno vrijeme (Hadnađev i sur., 2011). Nakon odmaranja, dijelovi tijesta razvlače se pomoću kuke ekstenzografa do pucanja. Nakon navedenog postupka, pomoću ekstenzograma određujemo sljedeće parametre:

- Otpor tijesta (O) predstavlja silu potrebnu da se tijesto istegne na određenu duljinu. Izražava se u ekstenzografskim jedinicama (EJ).
- Maksimalni otpor (R_{max}) ili otpor pri stalnoj deformaciji odgovara maksimalnoj visini krivulje na ekstenzogramu, a izražava se u ekstenzografskim jedinicama (EJ).
- Rastezljivost (R) ili otpor rastezanju predstavlja duljinu istegnutog tijesta od početka rastezanja do pucanja, a izražava se u milimetrima (mm).
- Omjer otpora i rastezljivosti (O/R) opisuje ponašanje tijesta prilikom rastezanja. Visoki omjer ukazuje na svojstva kratkog glutena što rezultira malim volumenom pečenih proizvoda (Hadnađev i sur., 2011).

Energija rastezanja (E) je proporcionalna površini ispod krivulje, a izražava se u cm^2 . Što je površina ispod krivulje veća, više je energije potrebno za rastezanje tijesta te je brašno jače i obrnuto.

Brabenderov amilograf

Princip rada amilografa, odnosno rotacijskog viskozimetra bazira se na mjerenju viskoznosti suspenzije brašna i vode pri zagrijavanju određenom brzinom (Hadnađev i sur., 2011). Izmjerena viskoznost izražavat će se u Brabenderovim jedinicama (BU). Iz dobivenog amilograma mogu se očitati parametri poput početne temperature želatinizacije ($^{\circ}C$), temperature maksimuma ($^{\circ}C$), stabilnosti (min) te maksimalne viskoznosti (BU).

Vrijednost maksimalne viskoznosti govori o amilolitičkoj aktivnosti škroba, a odnos između ovih parametara je obrnuto proporcionalan. Mjerenje će se odvijati dok se ne postigne značajno smanjenje izmjerene zakretnog momenta nakon vrhunca lijepljenja (Hadnađev i sur., 2011). Zagrijavanjem suspenzije brašna i vode viskoznost raste do maksimalne vrijednosti, nakon čega opada. Porastom temperature tijekom zagrijavanja dolazi do enzimatske razgradnje škroba, a uslijed apsorpcije molekula amiloze i amilopektina škrobna zrnca bubre te se povećava viskoznost suspenzije. Nakon što zrnca škroba postanu osjetljiva na visoku temperaturu i miješanje, dolazi do pucanja opni zrnaca škroba te viskoznost naglo pada.

Broj padanja

Broj padanja koristi se za određivanje aktivnosti α -amilaze (Hadnađev i sur., 2011). Izražava se u sekundama i predstavlja vrijeme koje protekne od trenutka kada se kiveta sa suspenzijom stavi u vodenu kupelj pa sve do završetka penetracije miješalice viskozimetra kroz škrobni gel. Vrijednost ovog parametra obrnuto je proporcionalna udjelu α -amilaze. Povećana aktivnost α -amilaze može negativno utjecati na svojstva pečenog kruha što se može očitovati u ljepljivom tijestu, mrvljenju, promjeni boje te nižem upijanju vode (Hadnađev i sur., 2011). Osim u pekarskim proizvodima, tjestenina napravljena od brašna niske amilolitičke aktivnosti mekana je i kašasta te dolazi do velikih gubitaka kuhanjem (Hadnađev i sur., 2011).

2.4. KEKS

Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica (NN, 101, 2022) keks je proizvod dobiven pečenjem oblikovanog tijesta, a sadrži najmanje 6 % masti ili ulja, računato na ukupnu masu gotovog proizvoda te sadrži najviše 5 % vode.

Keks se prema udjelu masnoća može podijeliti u tri kvalitetne skupine:

- Keks ekstra kvalitete
- Keks prve kvalitete
- Keks druge kvalitete.

Keks ekstra kvalitete mora sadržavati najmanje 16 % masnoće, a od toga minimalno 13,5 % mora biti mliječna mast. Keks prve kvalitete mora sadržavati najmanje 10 % masnoće, dok keks druge kvalitete mora sadržavati najmanje 6 % masnoće (Ugarčić-Hardi, 1999).

Osnovni sastojci ovog konditorskog proizvoda su brašno, masnoća i šećer, a obično se koristi brašno meke pšenice udjela proteina do 9 % jer veći udio proteina glutena negativno utječe na teksturu keksa (Kuzmić, 2020). Osim navedenih osnovnih sastojaka, za izradu keksa koriste se i aditivi te sastojci poput mlijeka i mliječnih proizvoda, meda, voća, kakao praha, čokolade, začina i drugih sirovina. Raznolikost okusa keksa, dug rok trajanja i cijena čine keks jednim od najpopularnijih pekarskih proizvoda, a uz kruh su najčešće konzumirani proizvodi od žitarica (Kuzmić, 2020).

Proizvodnja keksa obuhvaća tehnološke postupke poput zamjesa tijesta za keks prema recepturi, obrade tijesta laminiranjem, odnosno stanjivanje tijesta između dva valjka te odmaranje. Nakon navedenih tehnoloških postupaka, slijedi oblikovanje tijesta za keks gdje tjestene trake prolaze ispod valjka s kalupom, valjak s kalupom se podigne, a oblikovano tijesto ostane na transportnoj traci. Nakon oblikovanja, tijesto se peče te hladi i pakira. Kako bi postupak proizvodnje keksa bio što uspješniji važno je obratiti pažnju na svojstva brašna koja će utjecati na svojstva zamjesa tijesta za keks. Svojstva brašna razlikuju se za različite konditorske i pekarske proizvode. Naime, brašno potrebno za proizvodnju keksa treba sadržavati nizak udio glutena kako bi se postigla željena krhka tekstura finalnog proizvoda, a ukoliko je riječ o pekarskim proizvodima poželjan je visok udio glutena koji doprinosi elastičnosti i volumenu pekarskog proizvoda. Stoga, industrija definira zahtjeve za proizvodnju, a pomoću istih odabiru se kultivari pšenice koji imaju poželjne karakteristike za proizvodnju keksa.

2.5. ZAHTJEVI KONDITORSKE INDUSTRIJE

Ovisno o vrsti proizvoda koji se proizvodi, industrija definira specifične zahtjeve za svojstva brašna kako bi se smanjili proizvodni troškovi i potreba za dodatnom manipulacijom smjese brašna. Zahtjevi za svojstva brašna prikazani su u obliku minimalnih i maksimalnih vrijednosti čime se osigurava jednaka kvaliteta finalnog proizvoda. Važno je napomenuti da pojedini zahtjevi za određene proizvode nisu definirani budući da svojstvo nije presudno za postizanje kvalitete proizvoda.

Nadalje, zahtjevi za svojstva brašna mogu se podijeliti na farinografska, ekstenzografska i amilografska svojstva. Farinografska svojstva čine podaci poput vlažnog glutena, padajućeg broja, upijanja vode, razvoja tijesta, stabilnosti, rezistencije, stupnja omekšanja i kvalitetne grupe. Podaci dobiveni ekstenzogramom su rastezljivost, otpor, omjer otpora i rastezljivosti te energija, dok amilografska svojstva čini maksimalni viskozitet.

Kvaliteta tijesta se ogleda u konzistenciji i stabilnosti koje ovisi o udjelu i kvaliteti glutena u pšeničnom brašnu (Šehić i sur., 2017). Količina glutena u brašnu izražava se preko količine vlažnog glutena, a ovaj parametar pšeničnog brašna je njegova osnovna kvalitetna odrednica (Šehić i sur., 2017). Pridržavanjem zahtjeva industrije olakšava se ekonomičnija proizvodnja budući da će potreba za poboljšivačima ili drugim dodacima biti smanjena ili potpuno izostavljena. S druge strane, često u proizvodnji nije moguće osigurati jednaku kvalitetu brašna kao osnovne sirovine u konditorskoj industriji te se pribjegava korigiranju tehnoloških karakteristika brašna, posebice kvalitete i udjela glutena. Poboljšanje svojstava i kvalitete te povećanje stabilnosti procesnih parametara brašna omogućit će se primjenom poboljšivača (aditiva). Čest aditiv koji se upotrebljava u proizvodnji keksa je kalij metabisulfit koji skraćuje tehnološki proces izrade tijesta, ali i osigurava plastične osobine tijesta potrebne za željena svojstva keksa (Šehić i sur., 2017).

2.6. LINDO

LINDO (*Linear, Interactive and Discrete Optimizer*) predstavlja alat za rješavanje zadatka linearnog, cjelobrojnog i kvadratnog programiranja. Pokazao se izvrsnim za korištenje u specifičnim područjima ljudskoga djelovanja kao što su miješanje sastojaka, procesi proizvodnje, distribuciju proizvoda, upravljanje zalihama, organizaciji prijevoza optimalnim putem uz najniže troškove i dr.

Primjenom metoda optimiranja, moguće je za rezultat dobiti skup rješenja ili jedno optimalno rješenje koje zadovoljava sva postavljena ograničenja modela. Kod modela sa dvije varijable moguća je i primjena grafičke metode rješavanja zadatka.

Modeli linearnog programiranja čine linearne jednadžbe i nejednadžbe od kojih neke predstavljaju funkciju cilja, a druge su pak ograničenja. Kao alat za rješavanje linearnih modela koji sadrže veći broj polaznih varijabli iskazao se program LINDO zbog svoje jednostavnosti i brzine. Linearno programiranje predstavlja rješavanje matematičkog zadatka

s ciljem izračunavanja minimalne ili maksimalne vrijednosti linearne funkcije. Varijable u zadatku moraju zadovoljiti sustav ograničenja koji je zadan linearnim jednadžbama ili nejednadžbama.

Princip rada LINDO programa bazira se na primjeni Simpleks metode, odnosno algoritma (engl. *Simplex*). Primjena navedenog algoritma podrazumijeva postupak pretraživanja ekstremnih točaka područja mogućih rješenja linearnog programiranja pretražujući susjedne ekstremne točke područja mogućih rješenja. Ovom metodom izvodi se niz ponovljenih izračunavanja dok se ne pronađe optimalno rješenje. Pri izvođenju ponavljanja redom se pretražuju susjedna rješenja, a kao sljedeće rješenje odabire se ono koje daje rezultat veći ili manji od prethodnoga, ovisno o tomu tražimo li maksimum ili minimum funkcije cilja. Rješenja pri korištenju Simpleks metode mogu se opisati i kao vrhovi poliedra unutar kojega su sva dopustiva rješenja. Algoritam se u tom slučaju kreće iz jednog vrha i traži vrh s optimalnom vrijednošću funkcije cilja, a kreće se u smjeru vrha koji poboljšava vrijednost funkcije cilja, sve dok se ne postigne optimalno rješenje ili se utvrdi da nema boljeg rješenja.

Model linearnog programiranja u LINDO-u sastoji se od modela funkcije cilja (Fc), odnosno linearne funkcije koja sadrži više varijabli, a definirana je s MIN ili MAX. Osim funkcije cilja, model sadrži i sistem ograničavajućih uvjeta koji čine linearne jednadžbe i nejednadžbe različitih oblika (\leq , $=$, \geq , $>$). Ograničenja se sastoje od zbroja umnožaka vrijednosti određenog svojstva brašna, matematičkog simbola te zahtjeva industrije za određeno svojstvo brašna. Stoga, pri optimiranju smjese brašna, prvi zahtjev, odnosno smjernica je definirati cilj i ograničenja modela kako bismo dobili optimalno rješenje. Optimalno rješenje bit će uvijek ekstremno s obzirom da se radi o najmanjoj (MIN) ili pak najvećoj (MAX) vrijednosti definirane funkcije cilja. Ukoliko rješenje nije moguće, postavljeni parametri moraju se izmijeniti (Darmon i sur., 2002). Kako bismo objedinili funkciju cilja i modele ograničenja upotrebljavamo naredbu "SUBJECT TO", a završava se naredbom "END". Ograničenja zapisujemo u zaseban red jedno ispod drugoga. Osim navedenih naredbi, pojedina ograničenja mogu se isključiti iz izračuna znakom uskličnika (!), a također se mogu i dodatno pojasniti pisanjem zagrade na kraju opisne riječi (). Nakon napisane naredbe "END", pritiskom na ikonu "Solve", LINDO će prije ponuđenih rješenja, otvoriti prozor s mogućnošću analize osjetljivosti i raspona.

Ponudena rješenja bit će prikazana na ekranu kao "Prozor izvješća". LINDO će ponuditi rješenja koja su matematički točna, no sami odabiremo rješenje za koje smatramo da je najprihvatljivije. Prozor izvješća pruža detaljne informacije o broju provedenih iteracija potrebnih za rješavanje modela, vrijednosti funkcije cilja, vrijednostima varijabli, smanjenim troškovima, manjku i višku te dvojnim cijenama.

Vrijednost funkcije cilja (eng. *Objective Function Value*) ovisi o tome što je postavljeno zadanom funkcijom cilja (MAX ili MIN), odnosno može predstavljati najveću dobit ili najmanje troškove.

Kada LINDO pronađe optimalno rješenje daje konkretne vrijednosti za svaku varijablu koje zadovoljavaju sva postavljena ograničenja. Vrijednosti (eng. *Value*) sadrže kombinaciju upotrijebljenih varijabli za koje je izračunata optimalna vrijednost funkcije cilja, odnosno predstavljaju optimalnu raspodjelu svojstava. Svaka varijabla predstavlja jedan parametar koju optimizacijski algoritam pokušava pronaći kako bi postigao željeni cilj. Ako vrijednost neke varijable iznosi nula, to znači da ta varijabla nije zastupljena u konačnom rješenju. Drugim riječima, ta varijabla se ne koristi ili je njezina količina postavljena na nula u optimalnoj raspodjeli resursa. Navedeno može ukazivati na to da ta varijabla nije relevantna za postizanje optimalnog cilja.

Smanjeni troškovi (eng. *Reduced Cost*) u izvješću o rješenju predstavljaju iznos koji odgovara povećanju ili smanjenju vrijednosti funkcije cilja pri uvođenju jedne količinske jedinice pojedine varijable. Varijablama koje je algoritam ugradio u konačno rješenje dodijeljena je vrijednost nula u opisu smanjenih troškova, a ostale varijable imaju pozitivne ili negativne vrijednosti. Ovakva analiza rješenja omogućuje prihvatljive promjene količina pojedinih varijabli u cilju izračunavanja optimuma, a uz zadržavanje konačnoga rješenja unutar skupa dopustivih rješenja.

Manjak ili višak (eng. *Slack or Surplus*) u izvješću o rješenju pokazuje koliko je svako rješenje blizu ograničenju s desne strane. Ograničenja tipa "manje od" (<) nazivaju se manjkom, a ograničenja "veće od" (>) viškom. Ako je ograničenje točno zadovoljeno vrijednost u dijelu izvješća o manjku ili višku će biti jednaka nuli. Razumijevanjem ovih podataka moguće je zaključiti i je li model neizvediv zbog nepostojanja skupa dopustivih rješenja.

Dvojne cijene (eng. *Dual Prices*) ili cijene u sjeni za svako ograničenje predstavljaju iznos za koji bi se povećala vrijednost funkcije cilja uvođenjem dodatnih količina pojedine varijable. Ovaj podatak opisuje koliko promjena za jednu jedinicu desne strane ograničenja utječe na ukupnu vrijednost funkcije cilja.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak je u programu LINDO izraditi matematički model za optimiranje sastava i cijene smjese brašna. Matematički model treba biti izrađen na temelju Simpleks algoritma. Predloženi sastav brašna treba sadržavati brašna različitih kakvoća i zadovoljavati zahtijevane vrijednosti pojedinih parametara za industrijsku proizvodnju keksa. Cilj rada je izrađenim modelom analizirati kombinacije brašna različitih sastava te odrediti najjeftiniji i najskuplji način namješavanja 100 t smjese brašna za proizvodnju keksa. Konačna rješenja trebaju omogućiti izvor najjeftinije i najskuplje recepture, koje zadovoljavaju zahtjeve konditorske industrije.

3.2. MATERIJAL I METODE

Materijali

Pri izradi rada korišteni su kultivari pšenice (**Tablica 2**) uzgajani na površinama Poljoprivrednog instituta Osijek.

Tablica 2 Oznake i nazivi kultivara pšenice

Redni broj	Oznaka kultivara pšenice	Naziv kultivara pšenice
1	BE	Bezostaja 1
2	SR	Srpanjka
3	DE	Demetra
4	SZ	Super žitarka
5	LU	Lucija
6	AL	Alka
7	RE	Renata
8	KA	Katarina
9	FE	Felix
10	U1	Osječka šišulja
11	SA	Sana
12	DI	Divana

Poslije žetve, zrna pšenice sortiraju se, čiste i melju za uzorke potrebne za laboratorijske analize. Analizama se određuju i izračunavaju parametri koji su pokazatelji kakvoće kultivara

pšenice. U svrhu izrade diplomskog rada korišteni su rezultati analize kemijskih parametara kakvoće pšenice i izmjerene vrijednosti ekstenzografskih, farinografskih i amilografskih svojstava brašna. U izradi diplomskog rada korištena su sljedeća svojstva tijesta dobivena laboratorijskim analizama: udio vlažnog glutena u brašnu (WG), upijanje vode (WA), stupanj omekšanja tijesta (DS), otpor tijesta rastezanju (R), maksimalni otpor tijesta (RMAX), rastezljivost tijesta (EXT) te maksimalni viskozitet (VISK).

3.2.1.1. Zahtjevi proizvođača keksa

Proizvođači definiraju zahtjeve u obliku minimalnih i maksimalnih vrijednosti svojstava brašna. Svojstva brašna definirana za preradu smjese brašna za proizvodnju keksa navedena su u **Tablici 3**.

Tablica 3 Minimalne i maksimalne zahtijevane vrijednosti svojstava brašna za keks

Redni broj	Svojstvo brašna	Oznaka svojstva	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
1	VLAŽNI GLUTEN (%)	WG	22	27
2	UPIJANJE VODE (%)	WA	53	60
3	STUPANJ OMEKŠANJA (FJ)	DS	70	120
4	RASTEZLJIVOST (min)	EXT	120	180
5	OTPOR (min)	R	200	400
6	MAX OTPOR (EJ)	RMAX	300	600
7	MAX VISKOZITET (EJ)	VISK	350	750

Pridržavanjem zahtjeva konditorske industrije te odabirom odgovarajućih kultivara pšenice omogućit će se željena i karakteristična svojstva keksa. Osim navedenog benefita, potreba za aditivima i enzimima u recepturama bit će svedena na minimum ili neće biti potrebe za njihovim dodavanjem.

Zahtjevi proizvođača za svojstva brašna razlikuju se za svaki proizvod, a pojedina svojstva brašna nisu definirana od strane industrije jer nisu presudna u proizvodnji keksa.

Metode

3.2.2.1. Izmjerene vrijednosti svojstava kakvoće brašna

Mjerenje parametara kakvoće provedeno je na Poljoprivrednom institutu Osijek, a tijekom izrade diplomskog rada korišteno je sedam različitih parametara. Odabrane parametre nužno je ispuniti kako bi smjesa brašna od različitih kultivara pšenice bila zadovoljavajuća za proizvodnju keksa. Dobivene vrijednosti mogu se podijeliti na rezultate dobivene mjerenjem indirektnih parametara kakvoće te one dobivene farinografskim, ekstenzografskim i amilografskim analizama brašna.

Rezultat mjerenja indirektnih parametara kakvoće je vlažni gluten. Farinografskim analizama dobiveni su parametri koji opisuju upijanje vode, otpor tijesta te stupanj omekšanja tijesta. Ekstenzografskim analizama dobiveni su podaci koji opisuju rastezljivost tijesta te maksimalni otpor, a amilografskim analizama opisan je viskozitet. Također, za svaki od kultivara formirana je tržišna cijena koja je izražena u eurima po toni. **Tablica 4a** prikazuje vrijednosti indirektnih parametara kakvoće, farinografske, ekstenzografske amilografske vrijednosti te tržišnu vrijednost kultivara.

Tablica 4a Izmjerene vrijednosti indirektnih parametara kakvoće, farinografske, ekstenzografske, amilografske analize te tržišna vrijednost kultivara

Redni broj	Oznaka kultivara	WG	WA	R	DS	EXT	RMAX	VISK	CIJENA (€/t)
1	AL	26,87	57,97	4,23	69,60	149,67	422,22	515,40	150
2	DE	27,35	57,49	2,85	69,00	153,70	500,20	481,23	150
3	SA	28,38	57,04	3,11	101,10	150,00	204,50	439,62	150
4	KA	29,51	56,73	3,67	51,80	152,00	454,50	497,13	150
5	LU	27,66	58,60	4,28	50,60	153,20	502,80	541,79	150
6	FE	27,92	59,90	2,90	47,70	150,40	461,10	618,41	150
7	SZ	32,10	62,35	2,99	76,50	143,70	331,70	557,52	160
8	SR	29,15	57,21	3,81	50,60	141,30	513,50	629,41	160
9	RE	30,38	58,17	5,74	47,90	156,40	496,10	643,11	170
10	BE	33,43	58,25	4,74	53,90	144,70	428,90	450,45	170
11	U1	44,31	56,11	2,73	109,20	192,60	117,20	496,96	190
12	DI	34,91	61,03	14,31	18,30	180,40	488,30	530,96	190

WG = vlažni gluten, eng. *Wet gluten* (%), WA = upijanje vode, eng. *Water absorption* (%), R = otpor tijesta, eng. *Dough resistance* (min), DS = stupanj omekšanja tijesta, eng. *Dough degree of softening* (FU), EXT = rastezljivost tijesta, eng. *Dough extensibility* (mm), RMAX = maksimalni otpor, eng. *Dough resistance of curve maximum* (EU), VISK = viskozitet, eng. *Viscosity*

Za svaki od parametara provedena je statistička analiza. Izračunata je minimalna vrijednost (MIN) koja predstavlja najmanju vrijednost u analiziranom skupu podataka, prosječna vrijednost u analiziranom skupu podataka (AVG), najveća vrijednost u analiziranom skupu podataka (MAX), koeficijent varijabilnosti u analiziranom skupu (KV) te broj vrijednosti koje su u skupu podataka manje (< AVG) i veće (> AVG) od prosječne vrijednosti. U **Tablici 4b** navedeni su rezultati statističke analize indirektnih parametara kakvoće, farinografske, ekstenzografske, amilografske analize te tržišne cijene.

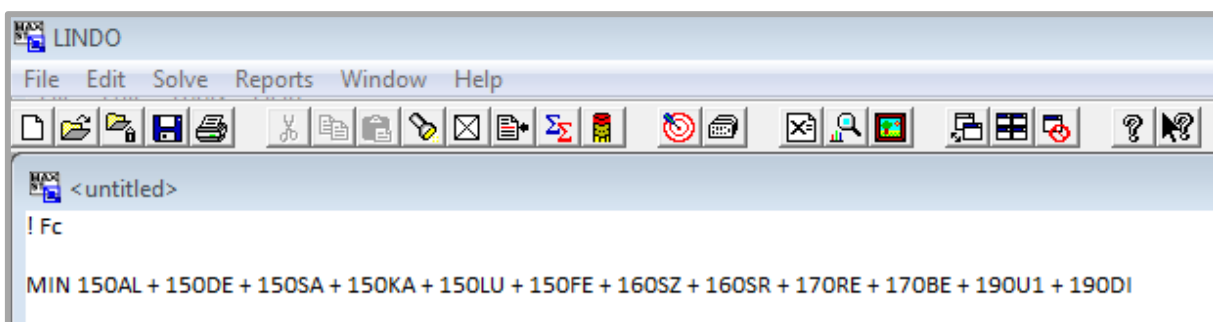
Tablica 4b Rezultati statističke analize indirektnih parametara kakvoće, farinografske, ekstenzografske, amilografske analize te tržišne cijene kultivara

	WG	WA	R	DS	EXT	RMAX	VISK	CIJENA (€/t)
MIN	26,87	56,11	2,73	18,30	141,30	117,20	439,62	0,15
AVG	31,00	58,40	4,61	62,18	155,67	410,09	533,50	0,16
MAX	44,31	62,35	14,31	109,20	192,60	513,50	643,11	0,19
KV	15,79	3,15	69,04	40,03	9,81	31,21	12,70	9,45
<AVG	8	8	9	7	9	3	7	8
>AVG	4	4	3	5	3	9	5	4

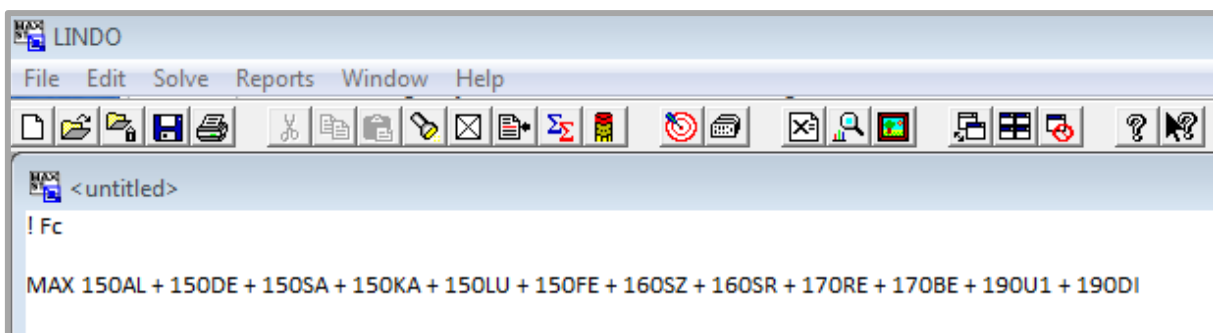
3.2.2.2. Kreiranje matematičkih modela u LINDO programu

Za kreiranje matematičkih modela u LINDO programu potrebni su rezultati analize brašna, tržišne cijene kultivara te zahtjevi konditorske industrije za proizvodnju keksa. Svojstva kultivara pšenice predstavljaju varijable pri kreiranju modela. Zahtjevi industrije predstavljaju ograničenja, a cijene kultivara ugrađene su u funkciju cilja.

Pomoću LINDO programa optimiran je sastav smjese brašna metodom linearnog programiranja na temelju Simpleks algoritma. U prvom koraku potrebno je definirati funkciju cilja koja je suma produkata pripadajuće cijene i naziva kultivara. Funkcija cilja bit će zadana za izračunavanje minimalne i maksimalne cijene smjese brašna ($F_{C_{MIN}}$ i $F_{C_{MAX}}$). Na **Slici 1** prikazana je funkcija cilja za izračunavanje minimalne cijene smjese brašna za proizvodnju keksa, a **Slika 2** prikazuje funkciju cilja za izračunavanje maksimalne cijene smjese brašna za proizvodnju keksa.



Slika 1 Funkcija cilja za izračunavanje minimalne cijene smjese brašna za proizvodnju keksa



Slika 2 Funkcija cilja za izračunavanje maksimalne cijene smjese brašna za proizvodnju keksa

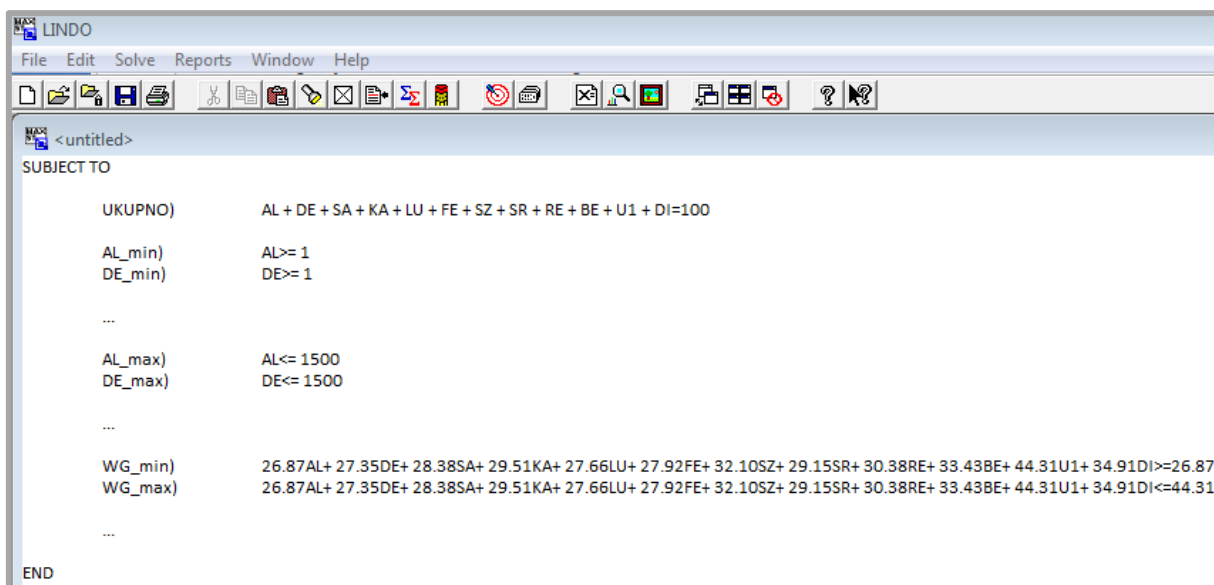
Nakon postavljanja funkcije cilja određuju se tipovi ograničenja ($<$, \leq , $>$, \geq i $=$) i zahtijevane vrijednosti. U ovom radu odabrana je zahtijevana količina smjese brašna od 100 tona. Maksimalna moguća raspoloživa količina kultivara određena je kapacitetima ćelija. Količina od 1500 tona odgovara maksimalno mogućoj raspoloživoj količini u silosu. Sljedeći korak u izradi matematičkog modela u programu LINDO je objediniti funkciju cilja i modele ograničenja unutar naredbi "SUBJECT TO" i "END".

Zahtijevana količina smjese brašna od 100 tona predstavlja prvi uvjet u modelu ograničenja. Ograničenja koja čine dostupne količine kultivara pišu se u zasebne redove, jedno ispod drugog. Tijekom pripreme smjese brašna moguće je da određen kultivar nije na raspolaganju te se tada njegova količina pri postavljanju uvjeta definira linearnom jednadžbom oblika "OZNAKA_KULTIVARA =0". Ograničenja u matematičkom modelu u ovom radu sadrže sedam različitih svojstava kakvoće brašna i zahtjeve konditorske industrije za te svojstva.

Daljnje kreiranje modela bit će objašnjeno na primjeru prvog svojstva kakvoće – vlažnog glutena. Zahtijevane vrijednosti konditorske industrije za vlažni gluten u proizvodnji keksa su u rasponu 26,87-44,31 %. Prvo ograničenje će sadržavati zbroj umnožaka postotnih udjela vlažnog glutena za svaki od 12 kultivara te izraz veće ili jednako (\geq) od 26,87 budući da se odnosi na minimum vlažnog glutena u smjesi. Drugo ograničenje odnosi se na maksimum vlažnog glutena u smjesi, a čini ga zbroj umnožaka postotnih udjela vlažnog glutena za svaki od 12 kultivara te izraz manje ili jednako (\leq) od 44,31. Nakon što su funkcija cilja i ograničenja postavljena, kreiranje modela završava se naredbom "END" koja je napisana u zasebnom redu.

Model funkcije cilja i model ograničenja predstavljeni su linearnim jednadžbama i nejednadžbama čija se rješenja određuju Simpleks algoritmom.

Na **Slici 3** prikazano je kreiranje modela na primjeru vlažnog glutena za prva dva kultivara pšenice.



Slika 3 Ekranski prikaz dijela modela u programu LINDO

Nakon kreiranog modela pritiskom na ikonu "Solve", program će izračunati rješenja jednadžbe funkcije cilja i jednadžbi odnosno nejednadžbi u modelu ograničenja. Rješenje jednadžbe funkcije cilja predstavlja trošak za pripremu smjese brašna. Rješenja u modelu ograničenja predstavljaju vrijednosti pojedinih svojstava u smjesi brašna. Za funkciju cilja program omogućuje izračunavanje minimalne ili maksimalne vrijednosti što predstavlja najmanji i najveći trošak za pripremu jednake količine smjese brašna.

LINDO će primjenom linearnog programiranja i Simpleks algoritma riješiti model ako je moguće izračunati rješenja uz postavljene uvjete. Prikaz rješenja sadržavat će podatke o minimalnoj ili maksimalnoj cijeni smjese brašna te količinu upotrebljenih kultivara. Ako je rješenje neizvedivo LINDO tada prikazuje dodatni prozor na kojem je objašnjeno zbog čega je model nerješiv.

4. REZULTATI

4.1. OPTIMIRANJE SASTAVA SMJESE BRAŠNA ZA PROIZVODNJU KEKSA

Ukupna masa smjese kultivara pšenice za proizvodnju keksa iznosi 100 tona. Masa pojedinačnih kultivara u smjesi iznosi najmanje 1 tonu, a najveća raspoloživa količina u silosu je 1500 tona.

Simulacije su provedene za izračunavanje najnižih i najviših troškova za proizvodnju 100 tona smjese brašna za keks uz ispunjavanje minimalnih i maksimalnih zahtjeva. Također je ispitano da li pojedinačni kultivari zadovoljavaju zahtjeve industrije za proizvodnju keksa. Ako kultivar ispunjava minimalne zahtjeve konditorske industrije model daje rješenje. Kao i u simulaciji gdje se koristi veći broj kultivara tražena količina smjese brašna bila je 100 t.

Rezultati provedenih simulacija prikazani su u tablicama. Tablice sadrže dostupne količine kultivara, mase kultivara korištenih za izradu smjese i cijenu smjese. **Tablica 5** prikazuje simulacije dostupnih količina kultivara za proizvodnju smjese brašna za kekse.

Tablica 5 Simulacije dostupnih količina kultivara

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
1	25	0	0	0	100	100	25	5	10	1500
2	25	0	0	0	0	0	0	10	20	1500
3	25	0	0	0	100	0	0	15	30	1500
4	25	0	0	0	0	0	0	20	40	1500
5	25	0	0	0	100	0	0	25	50	1500
6	25	0	0	0	0	0	0	30	60	1500
7	0	50	0	0	100	0	0	35	70	1500
8	0	50	0	0	0	0	0	40	80	1500
9	0	0	100	0	100	0	0	45	90	1500
10	0	0	100	0	0	0	0	50	100	1500
11	0	0	0	100	100	0	0	55	0	1500
12	0	0	0	100	0	25	100	60	0	1500

Izračunati najniži troškovi (€) i količine upotrebljenih kultivara za proizvodnju 100 t smjese brašna uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva konditorske industrije prikazani su u **Tablicama 6a-6b.**

Tablica 6a Izračunati najniži troškovi (€) za proizvodnju smjese brašna za minimalne zahtjeve

Fc	150AL + 150DE + 150SA + 150KA + 150LU + 150FE + 160SZ + 160SR + 170RE + 170BE + 190U1 + 190DI									
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fc MIN	15000	16000	17000	19000	15070	15040	18000	15140	15060	15140

Tablica 6b Izračunate količine kultivara (t) za proizvodnju smjese brašna za minimalne zahtjeve i najniže troškove (€)

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
1	23	0	0	0	95	99	25	1	10	1
2	25	0	0	0	0	0	0	3	20	89
3	25	0	0	0	1	0	0	15	1	1
4	25	0	0	0	0	0	0	20	1	1
5	1	0	0	0	1	0	0	25	4	1
6	1	0	0	0	0	0	0	30	60	1
7	0	50	0	0	1	0	0	1	1	1
8	0	50	0	0	0	0	0	1	1	1
9	0	0	99	0	1	0	0	1	1	1
10	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
11	0	0	0	99	1	0	0	1	0	1
12	0	0	0	1	0	1	75	1	0	1

U **Tablicama 7a-7b** prikazani su izračunati najviši troškovi (€) i količine kultivara (t) za proizvodnju 100 t smjese brašna za keks uz ispunjavanje minimalnih zahtjeva konditorske industrije.

Tablica 7a Izračunati najviši troškovi (€) za proizvodnju smjese brašna za minimalne zahtjeve

Fc	150AL + 150DE + 150SA + 150KA + 150LU + 150FE + 160SZ + 160SR + 170RE + 170BE + 190U1 + 190DI									
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fc MAX	15000	16000	17000	19000	18830	16000	18960	18660	16860	18660

Tablica 7b Izračunate količine kultivara (t) za proizvodnju smjese brašna za minimalne zahtjeve i najviše troškove (€)

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
1	23	0	0	0	1	75	1	1	1	1
2	25	0	0	0	0	0	0	1	1	1
3	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
4	25	0	0	0	0	0	0	1	1	1
5	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
6	25	0	0	0	0	0	0	1	1	1
7	0	50	0	0	1	0	0	1	1	1
8	0	50	0	0	0	0	0	1	1	1
9	0	0	99	0	1	0	0	1	1	1
10	0	0	1	0	0	0	0	1	91	1
11	0	0	0	99	95	0	0	55	0	1
12	0	0	0	1	0	25	99	35	0	89

Tablica 8 Razlika u cijeni (€) najnižih i najviših troškova za pripravu 100 t smjese

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fc MIN	15000	16000	17000	19000	15070	15040	18000	15140	15060	15140
Fc MAX	15000	16000	17000	19000	18830	16000	18960	18660	16860	18660
Razlika	0	0	0	0	3760	960	960	3520	1800	3520

Tablica 9 Simulacije sa samo jednim kultivarom za pripravu brašna

	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
AL	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DE	0	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KA	0	0	0	1500	0	0	0	0	0	0	0	0
LU	0	0	0	0	1500	0	0	0	0	0	0	0
FE	0	0	0	0	0	1500	0	0	0	0	0	0
SZ	0	0	0	0	0	0	1500	0	0	0	0	0
SR	0	0	0	0	0	0	0	1500	0	0	0	0
RE	0	0	0	0	0	0	0	0	1500	0	0	0
BE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1500	0	0
U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1500	0
DI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1500

Tablica 10a Izračunati najniži troškovi (€) za proizvodnju brašna od jednog kultivara za minimalne zahtjeve

Fc	150AL + 150DE + 150SA + 150KA + 150LU + 150FE + 160SZ + 160SR + 170RE + 170BE + 190U1 + 190DI											
Kultivar	AL	DE	SA	KA	LU	FE	SZ	SR	RE	BE	U1	DI
Fc Min	15000	15000	15000	15000	15000	15000	16000	16000	17000	17000	19000	19000

Tablica 10b Izračunati najviši troškovi (€) za proizvodnju brašna od jednog kultivara za minimalne zahtjeve

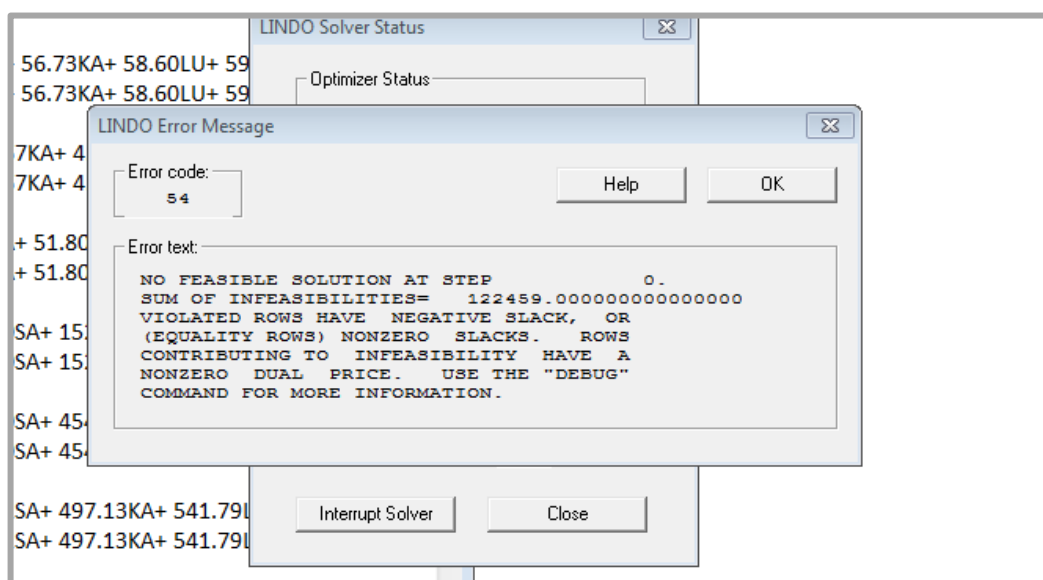
Fc	150AL + 150DE + 150SA + 150KA + 150LU + 150FE + 160SZ + 160SR + 170RE + 170BE + 190U1 + 190DI											
Kultivar	AL	DE	SA	KA	LU	FE	SZ	SR	RE	BE	U1	DI
Fc Min	15000	15000	15000	15000	15000	15000	16000	16000	17000	17000	19000	19000

Tablica 10c Izračunate količine kultivara (t) za proizvodnju brašna i minimalne zahtjeve

	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
AL	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DE	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KA	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
LU	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
FE	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
SZ	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
SR	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
RE	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
BE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
DI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

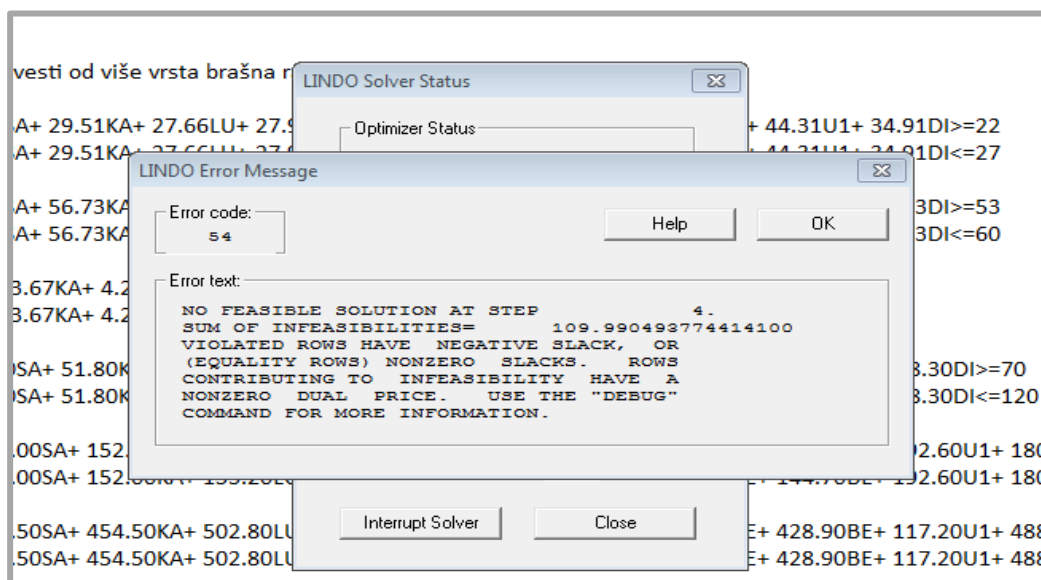
Najniže i najviše troškove za 100 tona brašna pripremljenog za maksimalne zahtjeve industrije, prema recepturama iz **Tablice 5** nije bilo moguće izračunati. Program ne nudi rješenja zadatka za ovaj model ograničenja.

Slika 4 predstavlja ekranski prikaz poruke programa LINDO o nemogućnosti izračunavanja rješenja za postavljena ograničenja, odnosno ispunjavanje maksimalnih zahtjeva pri izradi smjese od svih raspoloživih kultivar



Slika 4 Ekranski prikaz poruke programa LINDO za model s više raspoloživih kultivara

Model za izračunavanje najviših troškova za 100 tona brašna pripremljenog od samo jednog kultivara za maksimalne zahtjeve, prema recepturama iz **Tablice 9** nije izvediv. Na **Slici 5** nalazi se ekranski prikaz poruke programa LINDO o nemogućnost izračunavanja rješenja za ispunjavanje maksimalnih zahtjeva.



Slika 5 Ekranski prikaz poruke programa LINDO za model s jednim raspoloživim kultivatom

5. RASPRAVA

Analize brašna proizvedenih od različitih kultivara pšenice pokazuju da kultivari imaju različite sastave, svojstva i cijene. Stoga će različiti sastavi smjese brašna imati različita svojstva i troškove pripreme smjese.

Matematički modeli izrađeni u programu LINDO omogućili su izradu receptura smjesa brašna koje zadovoljavaju zahtjeve industrije za proizvodnju keksa. Analizirane su različite moguće kombinacije sastava smjese i izračunati su najniži i najviši troškovi za prihvatljive recepture. Industrijski proizvođači zahtijevaju određene minimalne i maksimalne vrijednosti svojstava brašna za proizvodnju keksa. Ovo zahtjevi ugrađeni su u matematičke modele i imaju direktan utjecaj na konačni predloženi sastav smjese odnosno recepturu.

U **Tablici 6a** prikazani su najniži troškovi za proizvodnju smjese brašna uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva konditorske industrije za proizvodnju keksa. Sastav smjese brašna ovisi o raspoloživosti pojedinih kultivara. Najniži trošak za pripremu zadovoljavajuće smjese iznosi 15000 eura za 100 tona brašna. Najjeftinija smjesa sastoji se od kultivara Alka (AL), Demetra (DE), Sana (SA), Katarina (KA), Lucija (LU) i Felix (FE). Spomenuti kultivari imaju najniže nabavne cijene (150 €/toni) pa ih Simpleks algoritam favorizira pri izboru za pripremu smjese. U jednoj od simulacija ispitana je kombinacija najskupljeg kultivara Divana (DI) i najjeftinijeg kultivara Alka (AL). Matematičkim modelom izračunato je da će u smjesi 100 tona brašna biti utrošeno 99 tona Alke i samo 1 tona Divane. Alka zadovoljava postavljene minimalne zahtjeve i uz to je najjeftinija, dok skuplji kultivar Divana u smjesi služi samo kao poboljšivač za nedostajuća svojstva kultivara Alka. Najveći trošak za pripremu zadovoljavajuće recepture iznosi 19000 eura za 100 tona brašna. Ova smjesa sastoji se od najskupljih kultivara – Osječke šišulje (U1) i Divane (DI). Cijena spomenutih kultivara je 190 eura po toni.

Izrađenim matematičkim modelima analizirana je mogućnost pripreme smjese brašna u kojoj će biti zastupljeni svi analizirani kultivari, a predviđena raspoloživa količina svakog kultivara bila je 1500 tona. Najjeftiniji sastav smjese brašna bio je onaj gdje svih kultivara ima po 1 tonu, a Demetre ima 89 tona. Demetra je jedan od najjeftinijih kultivara.

Količine upotrijebljenih kultivara za najniže i najviše troškove razlikuju se. Razlika u cijeni između najnižih i najviših troškova iznosila je od 960 do 3760 €/100 t (**Tablica 8**). Uspoređujući sastav smjese pripremljene od šest najjeftinijih kultivara vidljivo je da će najjeftinija i najskuplja smjesa imati različit sastav (**Tablice 6b** i **7b**). Kultivari korišteni u toj simulaciji imaju najnižu cijenu (150 €/t) te različite količine upotrijebljenih kultivara neće

utjecati na konačni najniži trošak za pripremu smjese. Razlika u ukupnom trošku bit će najveća kod simulacije u kojoj su korišteni kultivari različitih cijena, od najjeftinije (150 €/t) do najskuplje (190 €/t) cijene.

Kod izračunavanja najnižih troškova cijena iznosi 15070 €/100 t, a kod najviših troškova iznosi 18830 €/100 t, što čini razliku od 3760 €/100 t. Minimalni zahtjevi zadovoljeni su, no umjesto 95 tona Alke korišteno je 95 tona Osječke šišulje koja je skuplja te to čini razliku u cijeni. Najmanju razliku u cijeni čine kultivari Alka i Divana, a ona iznosi 960 €/100 t. Kod najnižih ukupnih troškova korišteno je 99 tona Alke i 1 tona Divane, a kod najviših 75 tona Alke i 25 tona Divane.

Analizirano je može li se u slučaju kada je dostupan samo jedan kultivar pripremiti smjesa brašna uz zadovoljene zahtjeve konditorske industrije. Dostupne količine kultivara su bile 1500 tona, a u svakoj od simulacija koristi se samo jedan kultivar. Raspoložive količine kultivara prikazane su u **Tablici 9**, a utrošene izračunate količine u **Tablici 10c**. Izrađenim matematičkim modelom izračunato je da kultivari i zasebno mogu ispuniti minimalne zahtjeve konditorske industrije. Izračunati najniži troškovi (€) za proizvodnju smjese brašna od jednog kultivara prikazani su od 15000 €/100 t do 19000 €/100 t (**Tablice 10a-b**). Budući da se koristi brašno samo jednog kultivara, nema razlike u najnižoj i najvišoj cijeni jer je za obje tražena jednaka količina od 100 tona.

Model za izračunavanje najnižih i najviših troškova za maksimalne zahtjeve prema smjesi brašna od jednog ili više kultivara nije izvediv (**Slike 4-5**). Za takve modele algoritam ne nalazi skup vrijednosti koje zadovoljavaju postavljena ograničenja. Izrađenim matematičkim modelima izračunato je da ni pojedinačni kultivari, a ni smjese kultivara ne mogu ispuniti maksimalne zahtjeve konditorske industrije.

6. ZAKLJUČCI

- Za izradu matematičkih modela korištena su svojstva brašna proizvedenog od različitih kultivara pšenice.
- Program LINDO omogućio je izradu različitih matematički model, temeljenih na linearnom programiranju i Simpleks algoritmu.
- Linearnim programiranjem se može pronaći skup dopustivih rješenja za sva minimalna ograničenja, ali ne i za ispunjavanje maksimalnih zahtjeva konditorske industrije za brašno za keks.
- Izrađenim modelima analizirane su kombinacije brašna različitih sastava i određeni su najjeftiniji i najskuplji načini namješavanja brašna za proizvodnju keksa koji zadovoljava postavljena ograničenja.
- Najniži ukupni trošak za pripravu 100 tona smjese brašna prema najjeftinijoj recepturi i minimalnim zahtjevima konditorske industrije iznosi 15000 eura, uz uvjet je da svakog kultivara koji je dostupan mora biti najmanje 1 tona. Smjesa se sastoji od 23 tona Alke, po 25 tona Demetre, Sane i Katarine te 1 tona Felixa.
- Najveći ukupni trošak 100 tona smjese brašna prema najskupljoj recepturi i minimalnih zahtjevima konditorske industrije iznosi 19000 eura, uz prethodno navedeni uvjet. Smjesa se sastoji od 99 tona Osječke šišulje i 1 tona Divane.
- Kultivari Alka, Demetra, Sana, Katarina, Lucija i Felix omogućuju pripravu različitih sastava smjese uz uvijek jednaki trošak jer svi imaju jednaku cijenu.
- Najveća razlika u ukupnom trošku za zadovoljavanje minimalnih zahtjeva industrije izračunata je pri korištenju kultivara različitih cijena. Najniži trošak iznosi 15070 eura za 100 tona, najviši 18830 eura za 100 tona što čini razliku od 3760 za 100 tona. U jeftinijoj recepturi korišteno je 95 tona Alke, a kod skuplje 95 tona Osječke šišulje koja je skuplja pa je i trošak za pripravu smjese bio veći.
- Najmanja razlika u cijeni smjese od samo dva kultivara, a koju čine kultivari Alka i Divana iznosila je 960 eura za 100 tona. Kod jeftinije recepture korišteno je 99 tona Alke i 1 tona Divane, a kod skuplje 75 tona Alke i 25 tona Divane
- U simulaciji kada su svi kultivari maksimalno raspoloživi (po 15000 t) i zahtijevani u sastavu smjese u količini od najmanje 1 t, trošak iznosi 15140 eura za 100 tona. Tada su utrošene količine 11 kultivara po 1 tonu, a Demetre je u smjesi 89 tona.

- Minimalne zahtjeve konditorske industrije može zadovoljiti i samo jedan od analiziranih kultivara. Pri tomu nema razlike u najnižoj i najvišoj cijeni budući da je konačni proizvod brašno samo jednog kultivara, a tražena je jednaka količina od 100 tona.
- Najniže i najviše troškove za ispunjavanje maksimalnih zahtjeva nije moguće izračunati je algoritam ne nalazi skup dopustivih rješenja. LINDO korisnika obavještava da takav matematički model ne nalazi rješenja Simpleks algoritmom.
- Optimiranim sastavima smjese brašna, predloženim u ovom radu, omogućuje se zadovoljavanje potreba industrije za minimalna svojstva brašna za proizvodnju keksa. Neki sastavi smjese neće trebati aditive jer su svojstva brašna za keks zadovoljena kombiniranjem brašna različitih kultivara.
- Primjena optimiranja sastava smjese brašna omogućuje smanjenje ili čak potpuno izbacivanje dodavanja aditiva iz brašna za proizvodnju keksa.
- Optimiranjem se aditivi i enzimi ne mogu uvijek u potpunosti izbaciti iz proizvodnog procesa. Ponekada su potrebni samom brašnu za kasnije skraćivanje tehnološkog procesa izrade tijesta, poboljšanja trajnosti i drugih benefita koje donose.

7. LITERATURA

- Ačkar, Đ. *Izoliranje, modificiranje i karakteriziranje škroba pšenice*. Doktorski rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2010.
- Finnie, S., Atwell, A.W. *Wheat Flour: Second Edition*. AACC International, SAD, 2016.
- Gjore, N., Koceva, K.D., Ivanova, N., Damyanova, S., Godjevargova, T., Šušak, A. *Sensory analysis of biscuits from einkorn flour, einkorn flakes and wheat flour in different proportions and different sugars. Proceedings of the 9th International Congress Flour - Bread '17 [and] 11th Croatian Congress of Cereal Technologists*. 105:114. 2018.
- Hadnađev, D.T., Pojić, M., Hadnađev, M., Torbica, A. *The Role of Empirical Rheology in Flour Quality Control*. Institute for Food Technology. University of Novi Sad, Srbija, 2011.
- Jošt, M., Samobor, V., Vukobratović, M. *Oplemenjivanje pšenice za posebnu namjenu. Glasnik Zaštite Bilja*. 29:1. 2006.
- Katić, L. *Razvrstavanje krušnog brašna prema zahtjevima prerađivača primjenom statističkih metoda*. Diplomski rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2019.
- Kuzmić, I. *Trajnost keksa bez šećera s dodatkom nusproizvoda prosa i heljde*. Diplomski rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2020.
- LINDO – *User's Manual*. 1415 North Dayton Street, Chicago, Illinois 60622: LINDO SYSTEM C., 2003.
- Ministarstvo Poljoprivrede, *Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica*, NN 101/2022 (2.9.2022).
- Stojanović, F. *Primjena kemometrijskih metoda za razvrstavanje namjenskog brašna prema zahtjevima prerađivača*. Diplomski rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2019.
- Šehić, E., Krešić, S., Šimunović, D. *Djelovanje askorbinske kiseline i kalijum metabisulfita na osobine tijesta od različitih tipova pšeničnog brašna. Educa, časopis za obrazovanje, nauku i kulturu*. 10:10. 2017.
- Ugarčić-Hardi, Ž. *Tehnologija proizvodnje i prerade brašna*. Interna skripta. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 1999.

8. PRILOZI

! Model Funkcije cilja, Fc

MIN 150AL + 150DE + 150SA + 150KA + 150LU + 150FE + 160SZ + 160SR +
+ 170RE + 170BE + 190U1 + 190DI

! Model ograničenja

SUBJECT TO

UKUPNO) AL + DE + SA + KA + LU + FE + SZ + SR + RE + BE + U1 + DI=100

! Minimalne količine u smjesi (min 1 t i svi kultivari su na raspolaganju)

AL_min) AL>= 1
DE_min) DE>= 1
SA_min) SA>= 1
KA_min) KA>= 1
LU_min) LU>= 1
FE_min) FE>= 1
SZ_min) SZ>= 1
SR_min) SR>= 1
RE_min) RE>= 1
BE_min) BE>= 1
U1_min) U1>= 1
DI_min) DI>= 1

! Maksimalne raspoložive količine u silosu (max 1500 t i svi kultivari su na raspolaganju)

AL_max) AL<= 1500
DE_max) DE<= 1500
SA_max) SA<= 1500
KA_max) KA<= 1500
LU_max) LU<= 1500
FE_max) FE<= 1500
SZ_max) SZ<= 1500
SR_max) SR<= 1500
RE_max) RE<= 1500
BE_max) BE<= 1500
U1_max) U1<= 1500
DI_max) DI<= 1500

! Ograničenja za svojstva smjese brašna koju treba proizvesti od više vrsta brašna različitih svojstava

WG_min) 26.87AL+ 27.35DE+ 28.38SA+ 29.51KA+ 27.66LU+ 27.92FE+ 32.10SZ+
+ 29.15SR+ 30.38RE+ 33.43BE+ 44.31U1+ 34.91DI>=22

WG_max) 26.87AL+ 27.35DE+ 28.38SA+ 29.51KA+ 27.66LU+ 27.92FE+ 32.10SZ+
+ 29.15SR+ 30.38RE+ 33.43BE+ 44.31U1+ 34.91DI<=27

WA_min) 57.97AL+ 57.49DE+ 57.04SA+ 56.73KA+ 58.60LU+ 59.90FE+ 62.35SZ+
+ 57.21SR+ +58.17RE+ 58.25BE+ 56.11U1+ 61.03DI>=53

WA_max) 57.97AL+ 57.49DE+ 57.04SA+ 56.73KA+ 58.60LU+ 59.90FE+ 62.35SZ+
+ 57.21SR+58.17RE+ 58.25BE+ 56.11U1+ 61.03DI<=60

R_min) 4.23AL+ 2.85DE+ 3.11SA+ 3.67KA+ 4.28LU+ 2.90FE+ 2.99SZ+
+ 3.81SSR+ 5.74RE+ 4.74BE+ 2.73U1+14.31DI>=200

R_max) 4.23AL+ 2.85DE+ 3.11SA+ 3.67KA+ 4.28LU+ 2.90FE+ 2.99SZ+ 3.81SSR+
+ 5.74RE+ 4.74BE+ 2.73U1+14.31DI<=400

DS_min) 69.60AL+ 69.00DE+ 101.10SA+ 51.80KA+ 50.60LU+ 47.70FE+ 76.50SZ+
+ 50.60SR+ 47.90RE+ 53.90BE+ 109.20U1+ 18.30DI>=70

DS_max) 69.60AL+ 69.00DE+ 101.10SA+ 51.80KA+ 50.60LU+ 47.70FE+ 76.50SZ+
+ 50.60SR+ 47.90RE+ 53.90BE+ 109.20U1+ 18.30DI<=120

EXT_min) 149.67AL+ 153.70DE+ 150.00SA+ 152.00KA+ 153.20LU+ 150.40FE+
+ 143.70SZ+141.30SR+ 156.40RE+ 144.70BE+ 192.60U1+ 180.40DI>=120

EXT_max) 149.67AL+ 153.70DE+ 150.00SA+ 152.00KA+ 153.20LU+ 150.40FE+
+ 143.70SZ+141.30SR+ 156.40RE+ 144.70BE+ 192.60U1+ 180.40DI<=180

RMAX_min) 422.22AL+ 500.20DE+ 205.50SA+ 454.50KA+ 502.80LU+ 461.10FE+ 331.70SZ+
+ 513.50SR+ 496.10RE+ 428.90BE+ 117.20U1+ 488.30DI>=300

RMAX_max) 422.22AL+ 500.20DE+ 205.50SA+ 454.50KA+ 502.80LU+ 461.10FE+ 331.70SZ+
+ 513.50SR+ 496.10RE+ 428.90BE+ 117.20U1+ 488.30DI<=600

VISK_min) 515.40AL+ 481.23DE+ 439.62SA+ 497.13KA+ 541.79LU+ 618.41FE+ 557.52SZ+
+ 629.41SR+ 643.11RE+ 450.45BE+ 496.96U1+ 530.96DI>=350

VISK_max) 515.40AL+ 481.23DE+ 439.62SA+ 497.13KA+ 541.79LU+ 618.41FE+ 557.52SZ+
+ 629.41SR+ 643.11RE+ 450.45BE+ 496.96U1+ 530.96DI<=750

END