

Optimiranje sastava smjese brašna za industrijsku proizvodnju peciva modeliranjem u programu LINGO

Čančarević, Katarina

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:109:174031>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-09**

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

Katarina Čančarević

**OPTIMIRANJE SASTAVA SMJESE BRAŠNA ZA INDUSTRIJSKU
PROIZVODNJU PECIVA MODELIRANJEM U PROGRAMU LINGO**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, srpanj, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA		DIPLOMSKI RAD
<p>Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek Zavod za procesno inženjerstvo Katedra za modeliranje, optimiranje i automatizaciju Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska</p>		
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:	-	
<p>Optimiranje sastava smjese brašna za industrijsku proizvodnju peciva modeliranjem u programu LINGO <i>Katarina Čančarević, 0113146256</i></p>		
<p>Sažetak: Na temelju minimalnih i maksimalnih vrijednosti određenih svojstava brašna za pecivo mase 700 g postavljenih od strane pekarske industrije te rezultata mjerenja parametara kakvoće različitih vrsta brašna na farinografu, ekstenzografu i amilografu, izrađen je matematički model u programu LINGO. Brašno je dobiveno iz 12 različitih kultivara pšenice uzgajanih na Poljoprivrednom institutu u Osijeku. Optimiranjem sastava smjese brašna, pronađena je najjeftinija i najskuplja receptura za izradu peciva mase 700 g uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva i pri uvjetu da svakog kultivara koji čini smjesu mora biti najmanje 1 tona. Iz rezultata može se zaključiti da je moguće zadovoljiti zahtjeve i u slučaju dostupnosti samo jednog kultivara te u slučaju kombinacije kultivara koji imaju vrijednosti određenih parametara kakvoće ispod prosječne u analiziranom skupu podataka. Još jeftinija receptura pronađena je u slučaju izostavljanja uvjeta da svakog kultivara koji čini smjesu mora biti najmanje 1 tona. Pri izračunavanju maksimalne cijene za maksimalno postavljene uvjete smjesu su činila samo dva kultivara, a za minimalnu cijenu u takvom slučaju model nije bio izvediv. Ovakve informacije korisne su za pekarske industrije kako bi sirovina koju nabavljaju bila zadovoljavajuće kakvoće.</p>		
Ključne riječi:	pšenično brašno, LINGO, optimiranje, pecivo mase 700 g	
Rad sadrži:	41 stranice 7 slika 24 tablice 12 literaturnih referenci	
Jezik izvornika:	hrvatski	
Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:		
	1. prof. dr. sc. <i>Sandra Budžaki</i>	predsjednik
	2. prof. dr. sc. <i>Damir Magdić</i>	član-mentor
	3. prof. dr. sc. <i>Tihomir Moslavac</i>	član
	4. dr. sc. <i>Daniela Horvat</i>	zamjena člana
Datum obrane:	11. srpanj 2023.	
<p>Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.</p>		

BASIC DOCUMENTATION CARD		GRADUATE THESIS
University Josip Juraj Strossmayer in Osijek Faculty of Food Technology Osijek Department of Process Engineering Subdepartment of Modelling, Optimisation and Automation Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia		
Graduate program Food Engineering		
Scientific area:	Biotechnical sciences	
Scientific field:	Food technology	
Course title:	Modelling 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 of the Flour Mixture for Industrial Production of Bun by Modelling in the LINGO Program <i>Katarina Čančarević, 0113146256</i>		
<p>Summary: Based on the minimum and maximum values of specific properties of 700 g of baking flour determined by the bakery industry and the results of measuring quality parameters of different types of flour using a farinograph, extensograph, and amylograph, a mathematical model was created in the LINGO program. The flour obtained from 12 different wheat cultivars grown at the Agricultural Institute in Osijek. Considering the available quantity and type of flour, the model provides solutions. By optimizing the composition of the flour mixture, the cheapest and most expensive recipes for making 700 g of pastry found while satisfying the minimum requirements and ensuring that each cultivar included in the mixture has a minimum quantity of 1 ton. From the results can be concluded that it is possible to meet the requirements even in the case of having only one cultivar available or a combination of cultivars with quality parameter values below the average in the analyzed dataset. An even cheaper recipe found by omitting the condition of having a minimum quantity of 1 ton for each cultivar included in the mixture. When calculating the maximum price for the maximum set conditions, the mixture consisted of only two cultivars, and in such a case, the model was not feasible for finding the minimum cost. Such information is useful for the bakery industry to ensure that the raw materials they procure meet satisfactory quality standards.</p>		
Key words:	Wheat flour, LINGO, Optimization, Pastry mass 700 g	
Thesis contains:	41 pages	
	7 figures	
	24 tables	
	12 references	
Original in:	Croatian	
Defense committee:		
	1. <i>Sandra Budžaki</i> PhD, full prof.	chair person
	2. <i>Damir Magdić</i> , PhD, tenured prof.	supervisor
	3. <i>Tihomir Moslavac</i> , PhD, tenured prof.	member
	4. <i>Daniela Horvat</i> , PhD, tenured sci. adv.	stand-in
Defense date:	July 11, 2023.	
Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.		

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.....	6
2.3.2. Brabenderov ekstenzograf.....	7
2.3.3. Brabenderov amilograf	8
2.4. PECIVO	9
2.5. ZAHTJEVI INDUSTRIJE.....	10
2.6. LINGO SYSTEMS PROGRAM.....	11
3. EKSPERIMENTALNI DIO	15
3.1. ZADATAK	16
3.2. MATERIJAL I METODE	16
3.2.1. Materijal	16
3.2.2. METODE	18
4. REZULTATI	23
4.1. OPTIMIRANJE SASTAVA SMJESE BRAŠNA ZA PECIVO MASE 700 G	24
5. RASPRAVA	33
6. ZAKLJUČCI	37
7. LITERATURA.....	40

Popis oznaka, kratica i simbola

Oznake kultivara pšenice i njihov puni naziv

LU	Lucija
SA	Sana
FI	Ficko
BE	Bezostaja 1
RE	Renata
TE	Tena
OC	OS Crvenka
OS20	Osječka 20
OS	Osječanka
SL	Slavonija
ZI	Žitarka
DI	Divana

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
P	Postotni udio bjelančevina u brašnu (<i>eng. Protein content</i>) (%)
WG	Vlažni gluten (<i>eng. Wet gluten</i>) (%)
FN	Broj padanja (<i>eng. Falling number</i>) (s)
WA	Upijanje vode (<i>eng. Water absorption</i>) (%)
DDT	Vrijeme razvijanja tijesta (<i>eng. Dough development time</i>) (min)
STAB	Stabilnost tijesta (<i>eng. Dough Stability</i>) (min)
R	Otpor tijesta (<i>eng. Dough Resistance</i>) (min)
DS	Stupanj omekšanja tijesta (<i>eng. Dough degree of softening</i>) (FU)
E	Energija tijesta (<i>eng. Dough energy</i>) (~cm ²)
R5MIN	Otpor tijesta kroz 5 minuta (<i>eng. Dough resistance after 5min</i>) (EU)
R MAX	Maksimalni otpor (<i>eng. Dough resistance at curve maximum</i>) (EU)
Ext	Rastezljivost tijesta (<i>eng. Dough extensibility</i>) (mm)
R/Ext	Omjer otpora i rastezljivosti (<i>eng. (Ratio resistance)/Extensibility</i>)

1. UVOD

Pšenica je visoko nutritivna i široko uzgajana jednogodišnja žitarica iz roda *Triticum*. Druga je najproizvedenija žitarica na svijetu, odmah iza kukuruza (web 1). Važna karakteristika koja ovaj usjev čini jedinstvenim i nezamjenjivim je specifičnost svojstava tijesta napravljeno od pšeničnog brašna koji omogućuje njegovu preradu u niz kruhova, tjestenine i drugih pekarskih proizvoda. Njezina prilagodljivost i veliki prinos značajno doprinose rasprostranjenosti ove žitarice. Tako velika prilagodljivost posljedica je oplemenjivačkog rada, prije svega sorti ozime pšenice. Kreiranje visokorodnih genotipova široke adaptivnosti u različitim uvjetima proizvodnje osiguralo je visokokvalitetne sorte pšenice kojima je poboljšana kvaliteta zrna i brašna.

Brašno je proizvod mljevenja pšenice, a uz vodu je i osnovna sirovina u proizvodnji pekarskih proizvoda. Od brašna žitarica, samo će pšenično brašno stvoriti visoko elastično tijesto jedinstvenih tehnoloških svojstava kada se pomiješa s vodom. Osim glavnog sastavnog dijela - škroba, pšenično brašno sadrži i mnoge druge komponente od kojih su protein gluten, neškrobni polisaharidi i lipidi najvažniji u smislu njihovog utjecaja na obradu sirovine te kvalitetu finalnih proizvoda (Goesaert i sur., 2005). Na ponašanje tijesta tijekom mehaničke obrade i na kvalitetu gotovog proizvoda utjecaj imaju i reološka svojstva tijesta.

Optimiranje podrazumijeva matematički postupak ponavljanja vođenja promatranog sustava kojem je cilj ostvarivanje najboljeg mogućeg izbora na temelju zadanih kriterija. U ovom diplomskom radu u svrhu optimiranja sastava smjese brašna za proizvodnju peciva mase 700 grama korišten je LINGO Systems program. Primjenom linearnog programiranja upravo ovaj alat često je primjenjivan u prehrambenoj industriji u svrhu optimiranja distribucije proizvoda, miješanja sastojaka, planiranja proizvodnje, upravljanja zalihama, rasporedom zaposlenika i slično (LINGO The Modeling Language and Optimizer 2020). Naravno, prema zadanoj funkciji cilja, program najčešće traži najmanju cijenu odnosno najveću uštedu.

Cilj ovog rada je primjenom linearnog programiranja optimirati ekonomski najpovoljniji sastav smjese brašna iz 12 različitih kultivara pšenice s Poljoprivrednog instituta u Osijeku pri tome da svi zahtjevi pekarske industrije za proizvodnju peciva mase 700 grama budu zadovoljeni. Pekarska industrija na ovaj način isključuje upotrebu aditiva i enzima u svojoj proizvodnji te tako ostvaruje značajnu financijsku uštedu.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. PŠENICA I KULTIVARI PŠENICE

Pšenica je nastala u kolijevci civilizacije, dolini rijeka Eufrat i Tigris. Prvi su ju u Europu unijeli i predstavili engleski kolonisti i ubrzo je postala glavna novčana kultura poljoprivrednika koji su je prodavali urbanom stanovništvu i izvoznicima (web 2). Globalno gledajući, pšenica je vodeći izvor biljnih bjelančevina u ljudskoj prehrani, s višim udjelom bjelančevina od drugih velikih žitarica kao što su kukuruz ili riža. Najraniji kultivirani oblici bili su diploidne i tetraploidne pšenice dok su se kasnije pojavile i heksaploidne krušne pšenice koje su nastale hibridizacijom kultiviranog tetraploida s divljom travom *Triticum tauschii*. Trenutno je diljem svijeta 95 % pšenice koja se uzgaja heksaploidna dok preostalih 5 % predstavlja tetraploidnu tvrdu pšenicu (Shewry, 2009). Iako broji preko tisuću poznatih sorti, sve se mogu svrstati u šest razreda prema vremenu sadnje, tvrdoći žita i boji zrna. Razredi su podijeljeni u tri vrste *T. aestivium*, *T. compactum* i *T. durum*. *T. aestivium*, poznata i kao krušna pšenica, najrašireniji je usjev pšenice te uključuje tvrdo crveno ozima zrno, tvrdo crveno jara, meko crveno ozima, tvrdo bijelo i meko bijelo zrno. *T. compactum* su patuljaste pšenice koje su uvijek meke, a *T. durum* podrazumijeva durum, tvrdo zrno. Tvrdoća je bitan faktor koji utječe na funkcionalnost brašna u prehrambenim proizvodima. Tvrde pšenice sadrže veći udio proteina pa je takva pšenica svoju primjenu pronašla u proizvodnji kruha i tjestenine dok proizvodi koji ne zahtijevaju veliku količinu proteina poput kolača i keksa koriste meke pšenice (Kim i sur., 2004). Nadalje, kao što se u nazivima razreda pšenice može primijetiti, još jedna bitna kategorizacija pšenice je na ozima i jara pšenicu. Ozima se sije u jesen, daje veće prinose te je otpornija na niske temperature dok se jara pšenica sije u proljeće, ima kvalitetnije zrno i daje kvalitetnije brašno (web 3). Svaka je sorta genetski drugačija i razlikuje se od drugih po nekim mjerljivim i vidljivim karakteristikama kao što su potencijal uroda, otpornosti na bolesti, sušu ili neki fizički atributi biljke. Svoju široku prilagodljivost stoga može zahvaliti genetičkom inženjeringu zbog kojeg danas broji jako veliki broj kultivara. Postupkom oplemenjivanja križaju se sorte obećavajućih karakteristika kako bi nastala sorta imala što više pozitivnih osobina. Tako je na Poljoprivrednom institutu u Osijeku, osim 12 kultivara koji su korišteni u ovom radu, do sada priznato 150 sorti ozima pšenice.

2.2. MLINARSKI DIO POSLA

Prerada pšenice u brašno odvija se u mlinu. Proces mljevenja frakcionira pšenicu osim na brašno i na različite druge proizvode poput krupice, klice i mekinja. Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica (2022), mlinarski proizvodi, pa tako i pšenično brašno, ne smiju sadržavati više od 15 % vode te boja, miris i okus moraju odgovarati vrsti žitarice. Po dolasku u mlin, pšenica najčešće sadrži određenu količinu primjesa, ali i oštećena zrna pšenice koja su također nepoželjna zbog velike vjerojatnosti da su oštećena djelovanjem insekata ili nekih bolesti. Nakon čišćenja i kondicioniranja pšenica se melje u gotove proizvode postupkom naizmjeničnog usitnjavanja i razvrstavanja usitnjenog materijala. Najmekši dio zrna je endosperm koji čini brašno i krupicu, dok se omotač i klica izdvajaju u posije. Ono što krupicu razlikuje od brašna je veličina čestica budući se ona dobije grubim mljevenjem pri čemu najviše 20 % ukupne mase čestica može imati veličinu manju od 200 μm (Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica (2022)). Usitnjavanje se vrši pomoću mlina na valjke, a razvrstavanje prema veličini provodi se na planskim sitima (Inamdar i Suresh, 2014). U mlinu se zatim vrši kombiniranje frakcija kako bi se postigla odgovarajuća granulacija, tip brašna i kvaliteta. Dobiveno brašno skladišti se u silosima za brašno. Stabilan je sastojak ukoliko ga se skladišti pri optimalnim uvjetima, na suhom, na odgovarajućim temperaturama i bez kontaminacije.

2.3. PŠENIČNO BRAŠNO

Svojstva pšeničnog brašna presudan su čimbenik u određivanju kvalitete finalnog pekarskog proizvoda. Svaka komponenta njegova sastava pridonosi tehnološkoj kvaliteti brašna koja se procjenjuje na temelju jakosti brašna, boje, granulacije i sposobnosti razvoja plina. Jakost brašna je sposobnosti brašna da stvori tijesto određenih reoloških svojstava koja su najbolja za obradu. Najznačajnija komponenta koja određuje jakost brašna je proteinski sastav. 20 % proteina pšeničnog brašna čine neglutenski albumin i globulin, a 80 % glutenski glijadin i glutenin koji čine gluten. Pridonose svojstvima plastičnosti, elastičnosti i formiranju željenog volumena i mekane sredine. Boja brašna ovisi o boji endosperma, količini posija pri čemu tamnija zrna imaju više posija, količini prisutnih karotenoida, veličini čestica brašna te vlažnosti brašna i to tako da vlažnija izgledaju tamnije. Što se tiče veličine, usitnjavanjem brašna do određene veličine čestica povećava se specifična površina, a time i sposobnost upijanja vode. Sposobnost razvoja plina je mjerilo sposobnosti nekog brašna da razvije određenu količinu

plina tijekom fermentacije te ovisi o udjelu vlastitih šećera brašna, udjelu i aktivnosti amilolitičkih enzima brašna te podložnosti škroba enzimskoj razgradnji. Kao što je rečeno, reološka svojstva ključna su u procjenjivanju odabira brašna specifičnih svojstava za izradu određenog pekarskog proizvoda. Ona se analiziraju i ispituju na uređajima Brabenderov farinograf, Brabenderov ekstenzograf te Brabenderov amilograf.

2.3.1. Brabenderov farinograf

Brabenderov farinograf je uređaj za ispitivanje reoloških svojstava. Na uređaju mjerimo otpor koji tijesto pruža pri mijesenju i sposobnost upijanja vode. Krivulje na grafu farinogramu predstavlja otpor tijesta miješanju u farinografskim jedinicama (FJ). S farinograma možemo očitati slijedeće parametre:

Sposobnost upijanja vode (ili postotak) potrebne da se zamijesi tijesto do optimalne konzistencije od 500 FJ. Kreće se od 50 - 70%,

Razvoj tijesta što predstavlja vrijeme u minutama od početka miješanja do postignute optimalne konzistencije,

Stabilnost tijesta također izražena u minutama, a označava vrijeme kroz koje se konzistencija tijesta ne mijenja odnosno do trenutka kada krivulja počne padati,

Otpornost tijesta (rezistencija tijesta) u minutama što opisuje toleranciju miješanja, a dobije se zbrajanjem vremena razvoja i stabilnosti tijesta,

Stupanj omekšanja (FJ) koji označava razliku između crte optimalne konzistencije i sredine krivulje na kraju miješanja,

Elastičnost koja je definirana širinom krivulje.

Površina određena sredinom farinografske krivulje i konzistencije od 500 FJ dalje klasira brašno u određene kvalitetne grupe prema kvalitetnom broju, **Tablica 1.**

Tablica 1 Kvalitetne grupe dobivene farinografskom analizom pšeničnog brašna određene prema kvalitetnom broju koji je svojstven za određenu površinu trokuta (Ugarčić-Hardi, 1999)

Površina trokuta (cm ²)	Kvalitetni broj	Kvalitetna grupa
0 - 1,4	100 - 85,3	A1
1,5 - 5,5	85,1 - 70,2	A2
5,6 - 12,1	69,9 - 55,1	B1
12,2 - 17,9	54,9 - 44,5	B2
18,0 - 27,4	44,4 - 30,0	C1
27,5 - 50	29,8 - 0	C2

Princip rada temelji se na zamjesivanju određene količine brašna te vode iz birete potrebne za zamjes optimalne konzistencije tijesta koje je dogovorno određena kao 500 FJ. Zamjes traje oko 15 minuta. Mjeri se snaga koja je potrebna za kretanje dvije lopatica mijesilice kroz tijesto. Rezultati dobiveni na farinografu često se upotrebljavaju za procjenu količine vode koja je potrebna za nastanak tijesta, ali i za procjenu proizvodnje u smjesama različitih brašna (Marek, 2018).

2.3.2. Brabenderov ekstenzograf

Brabenderov ekstenzograf je uređaj koji mjeri otpor koji tijesto pruža pri rastezanju sve do kidanja. Iz krivulje dobivene na grafu ekstenzogramu, očitavamo sljedeće:

Otpor (O) tijesta na rastezanje koji pokazuje kolika je sila potrebna da se komad tijesta istegne na određenu duljinu, a označava visinu srednje vrijednosti dvaju krivulja dobivenih nakon 135 min (3 puta po 45 min) i to udaljeno 5 cm od početka krivulje,

Rastezljivost (R) odnosno duljinu istegnutog tijesta od početka rastezanja do trenutka kidanja koja predstavlja duljinu apscise ekstenzograma te je rastezljivost proporcionalna duljini apscise,

Energiju rastezanja (E) koja je ekvivalentna površini ispod krivulje te se izražava u cm², a predstavlja energiju potrebnu za istežanje tijesta na određenu duljinu. Određena je ekstenzografskom krivuljom. Jako brašno karakterizira veća površina ispod krivulje odnosno energija rastezanja, a slabo brašno manja površina,

Odnos otpora i rastezljivosti (O/R) je količnik vrijednosti otpora i vrijednosti rastezljivosti. Najoptimalniji je 1,5 - 2,5 (ispod 0,8 gluten je rasplinjavajući, a iznad 4 čvrst i neelastičan),

Maksimalni otpor (ekstenzografske jedinice, EJ).

Tijesto se najprije zamijesi u mijesilici farinografa, a zatim u komorama ekstenzografa stavlja na odmaranje 45 minuta i zatim analizira. Rastezanjem tijesta bilježe se podaci na grafu ekstenzogramu sve do pucanja tijesta. Nakon toga tijesto se opet premijesi te ponovno stavlja 45 minuta u komoru na odmaranje, a onda opet analizira. Postupak se može ponoviti i treći puta (Ugarčić-Hardi, 1999).

2.3.3. Brabenderov amilograf

Amilolitička aktivnost i razgradnja škroba može se pratiti Brabenderovim amilografom budući su to parametri koji utječu na sposobnost razvoja plina tijekom fermentacije. Brabenderov amilograf je rotacijski viskozimetar koji bilježi promjenu viskoznosti suspenzije brašna i vode dajući podatke o amilolitičkoj aktivnosti brašna. Suspenzija se zagrijava uz miješanje i konstantno podizanje temperature svake minute za 1,5°C sve do krajnje temperature od 95 °C. Tijekom zagrijavanja mjeri se otpor mješača. Dobiveni graf amilogram sastoji se od apscise, čiji svaki cm predstavlja vrijeme od jedne minute i porast temperature za 1,5°C; i ordinate izražene u amilografskim jedinicama (Stojanović, 2019.). Iz njega se može očitati početna temperatura želatinizacije (°C), temperatura maksimuma (°C), maksimalna viskoznost (BU) i stabilnost (min) koja obilježava paralelu s apscisom 100 BU niže od maksimalne viskoznosti. Maksimalna viskoznost i amilolitička aktivnost obrnuto su proporcionalne vrijednosti što bi značilo da visoka maksimalna viskoznost znači malu amilolitičku aktivnost i obratno. Veći otpor mješača znači veću aktivnost koja je poželjnija jer je time amilolitička aktivnost mala, a to za posljedicu ima optimalnu i kompaktnu sredinu. U suprotnom, kruh od takvog brašna bit će ljepljive sredine (Ugarčić-Hardi, 1999).

Osim amilografom, amilolitička aktivnost može se pratiti metodom broja padanja. To je indirektna metoda određivanja aktivnosti α -amilaze. Izražava se u sekundama što predstavlja ukupno vrijeme od trenutka ulaganja kivete sa suspenzijom u vodenu kupelj do kraja penetracije miješalice viskozimetra kroz škrobni gel. Broj padanja obrnuto je proporcionalan udjelu α -amilaze u uzorku (Ugarčić-Hardi, 1999).

2.4. PECIVO

Prema Pravilniku o žitaricama i proizvodima od žitarica (2022.) pekarski proizvodi se, prema masi, vrsti upotrijebljenih sastojaka i postupku proizvodnje, razvrstavaju u sljedeće skupine:

- a) kruh,
- b) pecivo i
- c) drugi pekarski proizvodi.

Pekarski proizvodi se proizvode odgovarajućim tehnološkim postupkom od mlinskih proizvoda, uz dodatak drugih sastojaka kao što su voda, pekarski kvasac ili druge tvari za vrenje, sol te ostali sastojci (Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica 2022.) Prema Pravilniku pecivo je pekarski proizvod proizveden miješanjem, oblikovanjem, vrenjem (fermentacijom) i pečenjem tijesta umiješanog od navedenih sastojaka pri čemu neto količina pojedinačnog gotovog proizvoda ne prelazi 250 g. Vrlo poznata kombinacija svega par osnovnih, elementarnih sastojaka kroz stoljeća pa i tisućljeća daje jako širok broj različitih peciva. Naravno, dodatni sastojci značajno pridonose njihovoj međusobnoj različitosti. Prema vrsti upotrijebljenih sastojaka i načinu izrade pecivo se kao takvo dijeli na pšenično pecivo, raženo, kukuruzno, krupnikovo/pirovo, miješano i pecivo karakterističnih svojstava. Konkretno pšenično pecivo proizvodi se i stavlja na tržište pod sljedećim nazivima:

- a) pšenično bijelo pecivo,
- b) pšenično polubijelo pecivo,
- c) pšenično crno pecivo i
- d) pšenično pecivo od cjelovitog zrna.

Vrsta brašna utječe na sve faze pripreme, ponajviše samu pripremu tijesta. Brojni su parametri koji igraju važnu ulogu tijekom pripreme samog tijesta. Na primjer, sadržaj glutena u brašnu utječe na temperaturu samog tijesta. Vrijeme i intenzitet miješanja ovise o vrsti brašna. Na kraju, završna fermentacija ovisi o nizu faktora poput svojstava brašna, tehnološkom postupku, količini i aktivnosti kvasca, temperaturi tijesta te vrsti proizvoda. Budući da svaki pekarski proizvod pa i pecivo kao finalni proizvod ima postavljene zahtjeve pekarske industrije koje treba zadovoljiti potrebno je za svaki takav proizvod pronaći optimalni zamjes. Na njega

naravno utječu svojstva vode i kvasca, ali glavnu ulogu ima brašno. Prema tome, brašno je presudan sastojak kojem je nužno odrediti sastav. Drugim riječima, potrebno je definirati kultivare pšenice koji će formirati smjesu brašna s poželjnim karakteristikama za pojedini pekarski proizvod odnosno pecivo.

2.5. ZAHTJEVI INDUSTRIJE

Prehrambene industrije s obzirom na zahtjeve koje postavljaju za brašno, a to su prije svega reološka svojstva te neke zasebne specifične karakteristike kao što su vlažni gluten (%) te udio bjelančevina (%), određuju udovoljava li pojedino brašno njihovim zatraženim obilježjima za pojedini prehrambeni proizvod. Industrija utvrđuje minimalne i maksimalne vrijednosti odnosno intervale koji su prihvatljivi za određeno svojstvo, za određeni proizvod. Nisu sva svojstva bitna za svaku namjenu. Ono što je presudno za neki prehrambeni proizvod postaje zahtjev industrije te je ta svojstva potrebno zadovoljiti kako bi industrija dopustila daljnju preradu i upotrebu tog brašna pri proizvodnji određenog proizvoda. Određivanjem intervala sprječava se narušavanje kvalitete proizvoda odnosno održava ju se zajedno s proizvodnjom konstantnom i jednakom. Postavljeni zahtjevi za brašno, konkretno oni koji se odnose na farinografske, ekstenzografske i amilografske dobivene podatke omogućuju smanjenu ili čak potpuno isključenu upotrebu aditiva i dodanih enzima u pekarskoj industriji pri proizvodnji različitih proizvoda što doprinosi velikoj uštedi neke industrije. Naime, zadovoljavanjem zadanih uvjeta krajnji će proizvod imati karakteristične osobine za taj proizvod te neće biti potrebe za dodatkom poboljšivača. Odnosno u slučaju kada se zadana obilježja brašna nisu ispunila, razvoj tijesta pa i svi daljnji koraci neće se odvijati prema specifičnim kemijskim, fizikalnim i biokemijskim procesima pa je nužno primijeniti upotrebu aditiva i enzima kako bi se nadomjestili nedostaci brašna. Aditivi, poboljšivači imaju ulogu nadomjestiti oscilaciju procesnih parametara ulaznih sirovina, ponajviše brašna. U tu svrhu, najčešće se primjenjuju površinski aktivne tvari, emulgatori i askorbinska kiselina koji poboljšavaju svojstva glutena, usporavaju starenje proizvoda, povećavaju sposobnost zadržavanja plina u tijestu. S druge strane, često primjenjivani su i enzimski preparati kako bi potaknuli povećanje amilolitičke i proteolitičke aktivnosti. Amilolitička aktivnost bitna je za razgradnju škroba kako bi kvasci mogli iskoristiti jednostavne šećere potrebne za fermentaciju. S druge strane, proteolitički

enzimi poželjni su samo kada se radi o vrlo jakom pšeničnom brašnu zbog vrlo jakog gluten (Ugarčić-Hardi, 1999).

2.6. LINGO SYSTEMS PROGRAM

LINGO je sveobuhvatan alat kreiran za brže, lakše i učinkovitije rješavanje linearnih, nelinearnih, kvadratnih, kvadratno ograničenih, konusnih drugog reda, poluodređenih, stohastičkih i cjelobrojnih modela optimiranja. Za optimiranje sastava smjese brašna za proizvodnju peciva mase 700 grama primijenjeno je linearno programiranje. Prema zadanom modelu, LINGO radi optimiranje.

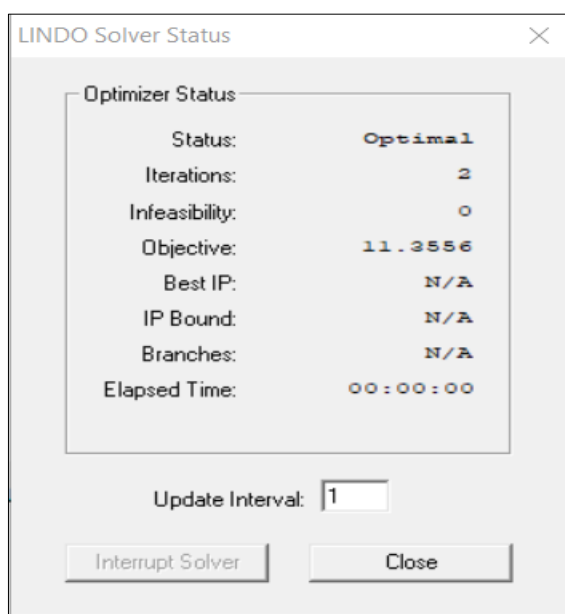
Općenito, model linearnog programiranja u LINGO-u čine model funkcije cilja (Fc) označene sa MIN ili MAX i model ograničenja kojeg može činiti velik broj ograničenja koja su predstavljena matematičkim jednadžbama i nejednadžbama različitih oblika ($>$, $<$, $=$, $>=$ ili $<=$). Naravno, osim funkcije cilja i ograničenja, model čini i niz varijabli.

Pokretanjem programa otvara se prazan prozor uz naredbene izbornike i naredbenu alatnu traku. Ono što prvo treba upisati je funkcija cilja. Postoje dva izbora, MIN ili MAX ovisno o tome što je cilj samog linearnog programiranja. Prva naredba u LINGO modelu je MIN ili MAX. Tipičan primjer je smanjenje cijene (FcMIN) ili povećanje dobiti (FcMAX). Iza MIN ili MAX slijedi funkcija cilja koja je definirana zbrojem umnožaka cijene i količine svake pojedine varijable. Model ograničenja upisuje se između naredbenih redaka SUBJECT TO i END. Svako ograničenje zapisuje se u zaseban red. Ovdje se navode sva ograničenja modela jedno ispod drugoga. Radi lakšeg snalaženja među varijablama i ograničenjima pri kreiranju modela moguće je napisati i komentar s opisom samog ograničenja, koji počinje znakom uskličnika i praznim mjestom iza (!). LINGO takav naredbeni redak neće uzimati u izračun pri optimiranju konačnog rješenja upravo zbog postavljenog znaka uskličnika. Poželjno je ispred svakog ograničenja skraćeno napisati o kojem se ograničenju radi uz dodavanje desne oble zagrade () na kraju opisne riječi kako bi u prozoru izvješća rezultati bili pregledniji i jasniji.

Ograničenja se zapisuju kao jednadžbe i nejednadžbe. Sastoje se od lijeve i desne strane koje dijeli matematički simbol. S lijeve strane ograničenja nalazi se zbroj umnožaka vrijednosti određenog parametra, svojstva ili sastojka za koji je to ograničenje postavljeno i količine svake varijable zasebno za to isto ograničenje. S desne strane ograničenja, odnosno nakon

određenog matematičkog simbola propisani je zahtjev industrije odnosno postavljeno ograničenje za određeni parametar, svojstvo ili sastojak. Znak " \geq " LINGO tumači kao veće ili jednako odnosno znak " \leq " kao manje ili jednako. Nakon napisanih ograničenja u zadnji red programskoga koda je potrebno napisati naredbu END. Time je model potpuno završen i spreman za rješavanje.

Za rješavanje modela koristi se naredba "Solve" iz izbornika "Solve" ili se pritisne gumb "Solve" na alatnoj traci na vrhu prozora. LINGO će započeti rješavanje odnosno odrediti ima li model moguće rješenje i je li u skladu sa sintaktičkim zahtjevima za pisanje naredbi i označavanje varijabli. Ako postoji neki nelogičan slijed, LINGO će korisnika obavijestiti porukom o pogrešci. Nakon ispravljanja odnosno ako pogreške i nije bilo, LINGO najprije otvara prozor kojim daje mogućnost analize osjetljivosti i raspona te ona kao takva također može biti prikazana u "Prozoru izvješća". Nakon toga, LINGO rješava model te se na ekranu prikazuje "Prozor statusa" (izvješće s informacijama o provedenom izračunu), **Slika 1**.



Slika 1 Ekran prikaz "Prozor statusa"

"Prozor statusa" uključuje status (eng. *Status*) čije su moguće vrijednosti optimalno, izvedivo, neizvedivo i neograničeno, zatim broj iteracija (eng. *Iterations*) odnosno broj ponavljanja rješavača, neizvedivost (eng. *Infeasibility*) tj. iznos kojim se krše ograničenja, cilj (eng. *Objective*) što označava trenutnu vrijednost funkcije cilja. Nadalje, prozor uključuje najbolji IP

(eng. *Best IP*), IP granicu (eng. *IP Bound*) i grane (eng. *Branches*) što je relevantno samo u modelima cjelobrojnog programiranja (IP, eng. *Integer programming*). Na kraju prozor prikazuje i proteklo vrijeme (eng. *Elapsed Time*) odnosno vrijeme proteklo od pokretanja rješavača. Pritiskom na "Close" prozor se zatvara, a optimiranje nastavlja. Dalje se otvara prozor koji nudi mogućnost analize osjetljivosti i raspona analiza. Nakon toga se prozor zatvori te se otvara novi prozor pod nazivom "Prozor izvješća", **Slika 2**.

```

LINDO
File Edit Solve Reports Window Help
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      2
OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1)      11.35556
VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
X1      0.000000      10.000000
X2      0.000000      12.000000
X3      0.300000      0.000000
X4      0.000000      5.722222
X5      0.000000      1.444444
X6      0.000000      0.666667
X7      0.588889      0.000000
X8      0.000000      12.333333
X9      0.000000      0.944444
ROW  SLACK OR SURPLUS  DUAL PRICES
2)      0.000000      -30.000000
3)      0.022000      0.000000
4)      0.023667      0.000000
5)      0.064222      0.000000
6)      0.000000      -5.555555
NO. ITERATIONS=      2

```

Slika 2 Ekranski prikaz "Prozor izvješća"

Prozor izvješća daje nam podatke o tome koliko je iteracija bilo potrebno LINGU da riješi zadani model (eng. *LP Optimum Found at Step*). Prozor prikazuje i vrijednost funkcije cilja (eng. *Objective Function Value*) koja nam govori koliki je najveći profit (dobit) odnosno najmanji troškovi, ovisno o tome što je zadanom funkcijom cilja postavljeno.

Prozor izvješća također sadrži vrijednosti (eng. *Value*), smanjene troškove (eng. *Reduced Cost*), manjak ili višak (eng. *Slack or Surplus*) i dvojne cijene (eng. *Dual Prices*).

Vrijednosti (eng. *Value*) prikazuju kombinaciju korištenih varijabli (eng. *Variable*) te njihovu vrijednost za koju je izračunata optimalna vrijednost funkcije cilja, a da su sva postavljena ograničenja zadovoljena. Varijable koje imaju vrijednost nula, nisu zastupljene u konačnoj smjesi niti su njihove količine korištene u formiranju konačnog rješenja odnosno vrijednosti funkcije cilja.

Smanjeni troškovi (eng. *Reduced Cost*) svake varijable prikazuju "cijenu" koja bi morala biti plaćena u slučaju uvođenja jedne količinske jedinice te iste varijable. Smanjeni troškovi kod varijabli koje su korištene u formiranju konačnog rješenja iznose nula, ali za sve ostale varijable imaju određenu vrijednosti. Drugim riječima, to je iznos za koji bi se objektivni koeficijent varijable morao poboljšati da bi uopće bilo isplativo uvesti tu varijablu.

Manjak ili višak (eng. *Slack or Surplus*) daje podatke za svako ograničenje o blizini ograničenja s desne strane. Za ograničenja "manje od" ($<$) općenito se naziva manjak, a za ograničenja "veće od" ($>$) višak. Nula znači da je ograničenje točno zadovoljeno. Ako je vrijednost negativna, ograničenje je prekršeno. Analizom ovog segmenta moguće je utvrditi pogrešku modela odnosno pojavom negativnih rješenja može se uočiti neizvedivost modela zbog nepostojanja skupa dopustivih rješenja.

Dvojne cijene (eng. *Dual Prices*) svakog ograničenja još se nazivaju i "cijene u sjeni". One prikazuju za koliko će se promijeniti ukupna vrijednost funkcije cilja promjenom samo jedne jedinice desne strane ograničenja. Isto tako, možemo reći da nam one pokazuju koliko bismo trebali biti spremni za plaćanje dodatnih promjena nekog od ograničenja.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Zadatak je izraditi u programu LINGO model za optimiranje sastava brašna proizvedenog od smjese pšenica različite kakvoće. Predloženi sastav smjese brašna mora zadovoljavati brojna ograničenja svojstva neophodna za industrijsku proizvodnju peciva. Cilj rada je izrađeni matematički model primijeniti na različite sastave brašna te odrediti količine brašna od pojedinih kultivara potrebne za pripravu 30 t smjese. Konačna rješenja trebaju omogućiti izbor najjeftinije i najskuplje recepture, koje zadovoljavaju zahtjeve pekarske industrije.

3.2. MATERIJAL I METODE

3.2.1. Materijal

U ovom radu korišteni su kultivari pšenice (**Tablica 2**) uzgajani na površinama Poljoprivrednog instituta Osijek.

Tablica 2 Oznake i puni nazivi kultivara pšenice

R.br.	Oznaka kultivara pšenice	Puni naziv kultivara pšenice
1	LU	Lucija
2	SA	Sana
3	FI	Ficko
4	BE	Bezostaja 1
5	RE	Renata
6	TE	Tena
7	OC	OS Crvenka
8	OS20	Osječka 20
9	OS	Osječanka
10	SL	Slavonija
11	ZI	Žitarka
12	DI	Divana

Zrna pšenice nakon žetve, čišćenja i sortiranja prolaze laboratorijske analize koje se također rade na Poljoprivrednom institutu u Osijeku. Analiziraju se parametri koji određuju kvalitetu svakog pojedinog kultivara pšenice kako bi se odredila njihova najbolja namjena i primjena. U svrhu diplomskog rada prikupljeni su rezultati analiza kemijskih parametara kakvoće pšenice te farinografska, ekstenzografska i amilografska svojstva. Analizama je tako određen udio bjelančevina, vlažni gluten, upijanje vode, razvoj tijesta, stabilnost, otpor rastezanju, stupanj omekšanja, rastezljivost tijesta, otpor kroz pet minuta, omjer otpora i rastezljivosti, maksimalni

otpor, energija tijesta, padajući broj te maksimalni viskozitet. Dobro određena kombinacija kultivara omogućit će da konačni proizvod ima karakteristična i poželjna svojstva te će eliminirati upotrebu različitih aditiva i enzima kojima bi morala nadomjestiti nedostatke u slučaju da brašno ne udovoljava zadanim kriterijima.

Zahtjevi proizvođača

Pri preradi smjese brašna za proizvodnju peciva mase 700 g bitno je 14 svojstava navedenih u **Tablici 3** te njihove minimalne i maksimalne vrijednosti. Vrijednosti navedene u **Tablici 3** su unutar raspona koje su postavili različiti industrijski proizvođači peciva.

Tablica 3 Minimalne i maksimalne vrijednosti svojstava brašna za pecivo mase 700 g

R.br.	Svojstvo brašna	Oznaka svojstva	Minimalni zahtjev	Maksimalni zahtjev
1	UDIO BJELANČEVINA (%)	P	14	15
2	VLAŽNI GLUTEN (%)	WG	20	23
3	UPIJANJE VODE (%)	WA	57	62
4	RAZVOJ TIJESTA (min)	DDT	0	4,5
5	STABILNOST (min)	STAB	0	1,6
6	OTPOR (min)	R	0	6
7	STUPANJ OMEKŠANJA (FJ)	DS	80	120
8	RASTEZLJIVOST (min)	EXT	140	160
9	OTPOR 5MIN (EJ)	R5MIN	0	240
10	O/R	R/EXT	1,4	1,7
11	MAX OTPOR (EJ)	RMAX	350	400
12	ENERGIJA (cm ²)	E	65	80
13	PADAJUĆI BROJ (s)	FN	0	330
14	MAX VISKOZITET (EJ)	VISK	400	700

Obzirom da prema Pravilniku pecivo može imati masu do 250 g, valja napomenuti kako je pecivo mase 700 g prema svojim potrebama tako definirala pekarska industrija. Industrija je također postavila minimalne i maksimalne vrijednosti svojstava brašna za pecivo mase 700 g. To su rasponi vrijednosti u kojima određena svojstva mogu imati izmjerene ili izračunate vrijednosti te koja brašno mora ispunjavati da bi pekarska industrija prihvatila to brašno i koristila ga pri preradi u pecivo mase 700 g.

3.2.2. METODE

Izmjerene vrijednosti svojstava kakvoće

Navedeno je 14 različitih parametara koje je potrebno zadovoljiti kako bi pripravljena smjesa brašna kultivara pšenice bila adekvatna za proizvod pecivo mase 700 g. Smjesu brašna činit će različit broj kultivara s obzirom na dostupnost i količinu pojedinog kultivara u silosu. Na Poljoprivrednom institutu Osijek prikupljeni su rezultati indirektnih parametara kakvoće te farinografske, ekstenzografske i amilografske analize brašna od svakog kultivara pšenice zasebno. Na kraju je formirana tržišna cijena svakog kultivara izražena u eurima po toni. Također, provedena je osnovna statistička analiza indirektnih parametara kakvoće i farinografske analize brašna. Izračunata je minimalna vrijednost svakog parametra (MIN) odnosno najmanja vrijednost u analiziranom skupu podataka, prosječna vrijednosti u analiziranom skupu podataka (AVG), najveća vrijednost u analiziranom skupu podataka (MAX), koeficijent varijabilnosti u analiziranom skupu te broj vrijednosti u skupu podataka koje su manje (< AVG) odnosno veće (> AVG) od prosječne. U **Tablici 4a** navedene su vrijednosti indirektnih parametara kakvoće i farinografske analize brašna, a **Tablica 4b** prikazuje rezultate statističke analize indirektnih parametara kakvoće i farinografske analize brašna.

Tablica 4a Izmjerene vrijednosti indirektnih parametara kakvoće i farinografske analize brašna

R.br.	Oznaka kultivara	1 P	2 WG	3 WA	4 DDT	5 STAB	6 R	7 DS
1	LU	12,93	27,66	58,60	3,50	0,76	4,28	50,60
2	SA	12,81	28,38	57,04	2,20	0,91	3,11	101,10
3	FI	14,07	30,60	60,04	4,55	1,63	6,17	67,80
4	BE	14,21	33,43	58,25	3,04	1,67	4,74	53,90
5	RE	14,06	30,38	58,17	2,86	2,90	5,74	47,90
6	TE	15,20	35,24	63,78	4,12	1,34	5,46	66,40
7	OC	14,70	35,24	60,49	4,57	1,60	6,17	58,30
8	OS20	13,70	34,53	60,59	2,32	0,43	2,76	95,40
9	OS	14,50	36,44	63,31	2,47	0,91	3,38	87,00
10	SL	13,55	32,72	60,67	2,69	1,13	3,81	74,20
11	ZI	13,84	34,69	62,51	2,78	0,93	3,71	80,70
12	DI	16,44	34,91	61,03	10,31	4,02	14,31	18,30

P = udio bjelančevina/proteina, eng. *Protein content (%)*, WG = vlažni gluten, eng. *Wet Gluten (%)*, WA upijanje vode, eng. *Water Absorption (%)*, DDT = vrijeme razvijanja tijesta, eng. *Dough Development Time (min)*, STAB = stabilnost tijesta, eng. *Dough Stabillity (min)*, R = otpor tijesta, eng. *Dough Resistance (EJ)*, DS = stupanj omekšanja, eng. *Dough Degree of Softening*

Tablica 4b Rezultati statističke analize indirektnih parametara kakvoće i farinografske analize brašna

	1	2	3	4	5	6	7
	P	WG	WA	DDT	STAB	R	DS
MIN	12,81	27,66	57,04	2,20	0,43	2,76	18,30
AVG	14,17	32,85	60,37	3,78	1,52	5,30	66,80
MAX	16,44	36,44	63,78	10,31	4,02	14,31	101,10
KV	6,72	8,86	3,50	58,60	66,50	58,00	34,56
< AVG	7	5	5	8	7	7	6
> AVG	5	7	7	4	5	5	6

Tablica 5a prikazuje izmjerene vrijednosti ekstenzografske i amilografske vrijednosti analize brašna te tržišnu vrijednost, a **Tablica 5b** prikazuje rezultate statističke analize ekstenzografske i amilografske analize brašna i tržišne vrijednosti brašna.

Tablica 5a Izmjerene ekstenzografske i amilografske vrijednosti i tržišna vrijednost brašna

R.br.	Oznaka kultivara	1	2	3	4	5	6	7	CIJENA (€/t)
		EXT	R5MIN	R/EXT	RMAX	E	FN	VISK	
1	LU	153,20	323,30	2,18	502,80	98,20	320,30	541,79	150
2	SA	150,00	166,20	1,15	204,50	42,90	259,90	439,62	150
3	FI	142,20	181,30	1,29	238,60	46,60	276,90	468,38	170
4	BE	144,70	303,00	2,12	428,90	80,50	266,30	450,45	170
5	RE	156,40	323,70	2,17	496,10	98,80	380,20	643,11	170
6	TE	158,00	219,10	1,41	311,90	65,60	291,50	493,07	190
7	OC	152,60	257,00	1,73	356,10	71,60	364,60	616,72	190
8	OS20	136,30	123,70	0,93	132,00	26,70	347,40	587,63	160
9	OS	152,10	139,30	0,93	164,70	36,20	323,70	547,54	190
10	SL	153,20	219,60	1,48	284,40	58,60	345,90	585,09	160
11	ZI	151,60	198,60	1,33	256,30	54,60	337,60	571,05	160
12	DI	180,40	298,00	1,66	488,30	114,90	313,90	530,96	190

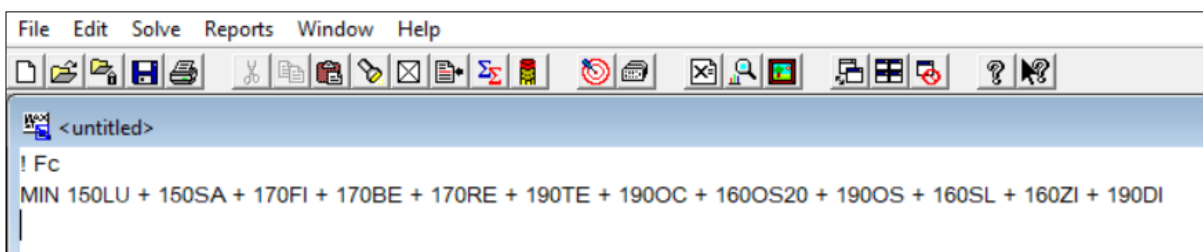
EXT = rastezljivost tijesta, eng. *Dough Extensibility* (mm), R5MIN = otpornost tijesta kroz 5 minuta, eng. *Dough resistance after 5 min*, R/EXT = omjer otpornosti i rastezljivost, eng. *Ratio Resistance/Extensibility*, RMAX = maksimalni otpor, eng. *Dough Resistance at Curve Maximum (EU)*, E = energija tijesta, eng. *Dough Energy (cm²)*, FN = broj padanja, eng. *Falling Number (s)*, VISK = viskozitet, eng. *Viscosity*

Tablica 5b Statistička analiza ekstenzografske i amilografske analize brašna i tržišne vrijednosti brašna

	8	9	10	11	12	13	14	
	EXT	R5MIN	R/EXT	RMAX	E	FN	VISK	CIJENA (€/t)
MIN	136,30	123,70	0,93	132,00	26,70	259,90	439,62	150
AVG	152,56	229,40	1,53	322,05	66,27	319,02	539,62	170
MAX	180,40	323,70	2,18	502,80	114,90	380,20	643,11	190
KV	7,02	30,92	29,34	40,88	41,38	12,16	12,16	9,20
< AVG	6	7	7	7	7	5	5	6
> AVG	6	5	5	5	5	7	7	6

Kreiranje modela u LINGO programu

Na temelju rezultata analize brašna, postavljenih zahtjeva pekarske industrije i tržišne cijene u LINGO programu je optimiran sastav smjese brašna za pecivo mase 700 g metodom linearnog programiranja. U silosima tijekom godine nisu uvijek dostupne jednake količine pojedinog kultivara za pripremu smjese brašna, a zahtjeve pekarske industrije je potrebno kontinuirano ispunjavati radi ujednačene kakvoće industrijskih proizvoda. **Slika 3** prikazuje funkciju cilja za izračunavanje minimalne cijene smjese brašna, a **Slika 4** za izračunavanje maksimalne cijene.



Slika 3 Funkcija cilja za izračunavanje minimalne cijene smjese pri optimiranju sastava smjese brašna za pecivo mase 700



Slika 4 Funkcija cilja za izračunavanje maksimalne cijene smjese pri optimiranju sastava smjese brašna za pecivo mase 700 g

U idućem koraku potrebno je postaviti ograničenja. U ovom modelu kultivari predstavljaju varijable modela. Prvi uvjet pri izradi smjese koji je određen je da količina smjese uvijek iznosi 30 tona. Isto tako, svakog kultivara koji je dostupan za pripremu smjese brašna mora biti minimalno 1 tonu, a maksimalna količina svakog kultivara je 1500 tona dok će se u simulacijama ovisno o tome koji kultivar i u kojoj količini je na raspolaganju odrediti maksimalna dostupna količina istog. Nakon upisanog naredbenog retka "SUBJECT TO" prvo se navodi uvjet ukupne zahtijevane mase smjese od 30 tona. Slijede dostupne količine svakog pojedinog kultivara. Ako u trenutku pripreme smjese brašna nekog kultivara u silosnim ćelijama nema, njegova količina će biti zadana uvjetom "oznaka_kultivara=0". Nakon postavljenih dostupnih količina kultivara potrebno je odrediti ograničenja vezana uz izmjerene vrijednosti svojstava brašna i zahtjeve industrije za ta svojstva. Prvi zahtijevani i analizirani parametar kakvoće je udio proteina. Zadani raspon dopuštenih vrijednosti udjela proteina u smjesi brašna za pecivo mase 700 g je između 14 % i 15 %. Prema tome, ograničenje s lijeve strane matematičkog izraza, nejednadžbe, potrebno je navesti kao zbroj umnožaka vrijednosti udjela proteina za svaki kultivar i kultivara na koji se određeni udio proteina odnosi. S desne strane potrebno je izraz ograničiti s veće ili jednako (\geq) od 14. Isti matematički izraz s lijeve strane zatim je potrebno napisati kao ograničenje za manje ili jednako (\leq) od 15 na desnoj strani. Ograničenja se tako navode za svaki parametar zasebno. **Slika 5** prikazuje primjer unosa ograničenja u program LINGO. Na slici je primjer unosa samo za prva dva kultivara pšenice i za parametar kakvoće "udio proteina".

```

File Edit Solve Reports Window Help
SUBJECT TO
    UKUPNO)      LU + SA + FI + BE + RE + TE + OC + OS20 + OS + SL + ZI + DI=30
    LU_min)      LU>= 1
    SA_min)      SA>= 1
    .
    .
    .
    LU_max)      LU<= 1500
    SA_max)      SA<= 1500
    .
    .
    .
    P_min)      12.93LU+ 12.81SA+ 14.07FI+ 14.21BE+ 14.06RE+ 15.2TE+ 14.7OC+ 13.7OS20+ 14.5OS+ 13.55SL+ 13.84ZI+ 16.44DI>=14
    P_max)      12.93LU+ 12.81SA+ 14.07FI+ 14.21BE+ 14.06RE+ 15.2TE+ 14.7OC+ 13.7OS20+ 14.5OS+ 13.55SL+ 13.84ZI+ 16.44DI<=15
    .
    |
  
```

Slika 5 Primjer unosa modela u LINGO

Nakon postavljenih ograničenja, unos modela završava upisivanjem naredbe "END" u zadnji red matematičkog modela. U slučaju mogućnosti pronalaženja rješenja uz sve postavljene uvjete, LINGO tada linearnim programiranjem rješava model. U prikazu rješenja program ispisuje podatke o minimalnoj ili maksimalnoj cijeni smjese brašna. Nadalje, prikazuje koji kultivari i u kojoj količini su potrebni kako bi kriteriji bili zadovoljeni. U slučaju nemogućnosti pronalaska rješenja LINGO tada prikazuje koje varijable i ograničenja onemogućavaju ispunjenje zahtjeva i u konačnici rješavanje modela.

4. REZULTATI

4.1. OPTIMIRANJE SASTAVA SMJESE BRAŠNA ZA PECIVO MASE 700 G

Ograničenja su u ovom radu postavljena prema mogućim, realnim situacijama u silosu. Uključuju uvjet da ukupna smjesa kultivara pšenica koji čine smjesu potrebnu za izradu peciva mase 700 g mora iznositi 30 tona i svakog kultivara koji čini smjesu mora biti najmanje 1 tona. S ciljem pronalaženja još jeftinije recepture, na jednom primjeru izostavljena su ograničenja ukupne mase smjese i zadane minimalne količine svakog kultivara od kojega će biti sastavljena najjeftinija receptura. Rezultati svih simulacija prikazani su u tablicama. Tablice prikazuju dostupne količine pojedinih kultivara, konkretne mase kultivara koji čine smjesu te vrijednost funkcije cilja odnosno cijenu konačne smjese za svaku simulaciju.

Maksimalne raspoložive količine u 12 ćelija u silosu, nakon žetve, za sve su kulture bile 1500 tona. **Tablica 6** prikazuje 10 različitih simulacija dostupnih količina pojedinih kultivara u određenom trenutku tijekom godine.

Tablica 6 Raspoložive količine brašna (t) u silosu za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oznaka kultivara	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
LU	100	100	100	0	1	5	5	5	5	1500
SA	100	100	100	0	2	25	5	5	5	1500
FI	0	100	100	0	3	25	500	500	500	1500
BE	0	0	100	0	4	25	500	500	500	1500
RE	0	0	0	0	5	25	500	500	500	1500
TE	0	0	0	0	6	25	500	500	500	1500
OC	0	0	0	0	7	25	500	500	500	1500
OS20	0	0	0	0	8	25	500	2	2	1500
OS	0	0	0	100	9	25	500	500	500	1500
SL	0	0	0	100	10	25	500	500	2	1500
ZI	0	0	0	100	11	25	500	500	500	1500
DI	0	0	0	100	12	25	500	500	500	1500

Tablica 7a Izračunate minimalne cijene (€) za proizvodnju 30 t smjese brašna za pecivo mase 700 g uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

Fc	150LU + 150SA + 170FI + 170BE + 170RE + 190TE + 190OC + 160OS20 + 190OS + 160SL + 160ZI + 190DI									
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FcMIN	4500	4520	4540	4860	4920	4750	4850	4850	4850	4750

Tablica 7b Izračunate količine brašna (t) za proizvodnju 30 t smjese brašna za pecivo mase 700 g uz minimalne cijene i zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oznaka kultivara	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
LU	29	1	1	0	1	5	5	5	5	19
SA	1	28	27	0	2	15	5	5	5	1
FI	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
BE	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
RE	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
TE	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
OC	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
OS20	0	0	0	0	8	1	20	1	2	1
OS	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
SL	0	0	0	27	1	1	1	1	2	1
ZI	0	0	0	1	11	1	1	11	9	1
DI	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

Tablica 8a Izračunate maksimalne cijene (€) za proizvodnju 30 t smjese brašna za pecivo mase 700 g uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

Fc	150LU + 150SA + 170FI + 170BE + 170RE + 190TE + 190OC + 160OS20 + 190OS + 160SL + 160ZI + 190DI									
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FcMAX	4500	5060	5060	5640	5470	5470	5470	5470	5470	5470

Tablica 8b Izračunate količine brašna (t) za proizvodnju 30 t smjese brašna za pecivo mase 700 g uz maksimalne cijene i zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oznaka kultivara	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
LU	29	1	1	0	1	1	1	1	1	1
SA	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
FI	0	28	1	0	1	1	1	1	1	1
BE	0	0	27	0	1	1	1	1	1	1
RE	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
TE	0	0	0	0	5	1	1	1	1	1
OC	0	0	0	0	7	19	19	1	1	19
OS20	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
OS	0	0	0	27	9	1	1	19	19	1
SL	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
ZI	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
DI	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

U **Tablici 9** prikazana je razlika minimalne i maksimalne vrijednosti funkcije cilja uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva pri proizvodnji peciva mase 700 g.

Tablica 9 Razlika između minimalne i maksimalne cijene (€) 30 t smjese brašna uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva pri proizvodnji peciva mase 700 g

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FcMIN	4500	4520	4540	4860	4920	4750	4850	4850	4850	4750
FcMAX	4500	5060	5060	5640	5470	5470	5470	5470	5470	5470
RAZLIKA	0	540	520	780	550	720	620	620	620	720

U slučaju dostupnosti samo jednog kultivara od 12 izabranih model daje rješenje samo ako taj kultivar zadovoljava sva zadana ograničenja. Masa brašna i u tom slučaju iznosi 30 tona.

U **Tablici 10a** prikazana je minimalna cijena za takav slučaj, a u **Tablici 10b** maksimalna cijena.

Tablica 10a Minimalna cijena (€) brašna pri ispunjenju minimalnih kriterija za proizvodnju peciva mase 700 g

Fc	150LU + 150SA + 170FI + 170BE + 170RE + 190TE + 190OC + 160OS20 + 190OS + 160SL + 160ZI + 190DI											
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FcMIN	4500	4500	5100	5100	5100	5700	5700	4800	5700	4800	4800	5700

Tablica 10b Maksimalna cijena (€) brašna pri ispunjenju minimalnih kriterija za proizvodnju peciva mase 700 g

Fc	150LU + 150SA + 170FI + 170BE + 170RE + 190TE + 190OC + 160OS20 + 190OS + 160SL + 160ZI + 190DI											
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FcMAX	4500	4500	5100	5100	5100	5700	5700	4800	5700	4800	4800	5700

Tablica 11 prikazuje raspoložive količine brašna u mlinu za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g. Iduće simulacije uključuju slučaj da više nije postavljen uvjet koji kaže da svakog kultivara koji čini smjesu mora biti minimalno 1 tona u smjesi.

Tablica 11 Raspoložive količine brašna (t) u silosu za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oznaka kultivara	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
LU	100	100	100	0	1	5	5	5	5	1500
SA	100	100	100	0	2	25	5	5	5	1500
FI	0	100	100	0	3	25	500	500	500	1500
BE	0	0	100	0	4	25	500	500	500	1500
RE	0	0	0	0	5	25	500	500	500	1500
TE	0	0	0	0	6	25	500	500	500	1500
OC	0	0	0	0	7	25	500	500	500	1500
OS20	0	0	0	0	8	25	500	2	2	1500
OS	0	0	0	100	9	25	500	500	500	1500
SL	0	0	0	100	10	25	500	500	2	1500
ZI	0	0	0	100	11	25	500	500	500	1500
DI	0	0	0	100	12	25	500	500	500	1500

Tablica 12a prikazuje minimalne cijene za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g pri zadovoljavanju minimalnih zahtjeva za navedeni slučaj. **Tablica 12b** daje podatke o količini pojedinog brašna.

Tablica 12a Izračunate minimalne cijene (€) za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

Fc	150LU + 150SA + 170FI + 170BE + 170RE + 190TE + 190OC + 160OS20 + 190OS + 160SL + 160ZI + 190DI									
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FcMIN	4500	4500	4500	4800	4770	4500	4700	4700	4700	4500

Tablica 12b Izračunate količine brašna (t) za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g uz minimalne cijene i zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oznaka kultivara	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
LU	30	30	30	0	1	5	5	5	5	30
SA	0	0	0	0	2	25	5	5	5	0
FI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OS20	0	0	0	0	6	0	0	2	2	0
OS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SL	0	0	0	0	10	0	20	18	2	0
ZI	0	0	0	30	11	0	0	0	16	0
DI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablica 13 donosi razliku u minimalnim cijenama u slučaju kada postoji uvjet da svakog dostupnog kultivara bude najmanje 1 tona i kada to nije slučaj uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva za pecivo mase 700 g.

Tablica 13 Razlika minimalnih cijena (€) uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva za pecivo mase 700 g

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FcMIN (S UVJETOM)	4500	4520	4540	4860	4920	4750	4850	4850	4850	4750
FcMIN (BEZ UVJETA)	4500	4500	4500	4800	4770	4500	4700	4700	4700	4500
RAZLIKA	0	20	40	60	150	250	150	150	150	250

Sljedeće simulacije daju rješenje modela u slučaju da su dostupne vrste brašna onih kultivara pšenice koje imaju vrijednost određenog svojstva ispod prosječne vrijednosti u analiziranom skupu podataka. **Tablica 14a** prikazuje raspoložive količine brašna u silosu za proizvodnju smjese brašna za pecivo, **Tablica 14b** izračunate minimalne cijene za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva i **Tablica 14c** izračunate količine brašna za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g uz minimalne cijene i zadovoljavanje minimalnih zahtjeva.

Tablica 14a Raspoložive količine brašna (t) u silosu za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oznaka kultivara	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
LU	100	100	0	100	100	100	100	100	0	0
SA	100	100	100	100	100	100	100	0	100	100
FI	100	100	100	100	0	0	0	0	100	100
BE	0	0	100	100	100	0	100	100	100	0
RE	100	100	0	100	100	0	0	100	0	0
TE	0	0	100	0	0	100	0	100	0	100
OC	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
OS20	100	0	0	0	100	100	100	0	100	100
OS	0	0	0	0	100	100	100	0	100	100
SL	100	100	0	0	100	100	100	0	0	100
ZI	100	0	0	0	100	100	100	0	100	100
DI	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0

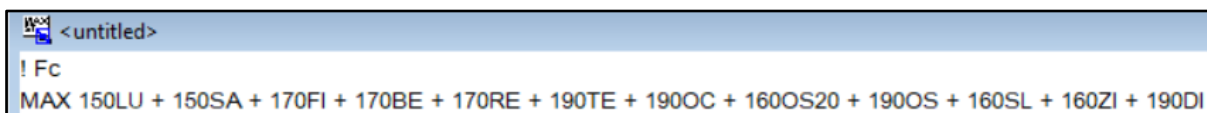
Tablica 14b Izračunate minimalne cijene (€) za proizvodnju 30 t smjese brašna za pecivo mase 700 g uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

Fc	150LU + 150SA + 170FI + 170BE + 170RE + 190TE + 190OC + 160OS20 + 190OS + 160SL + 160ZI + 190DI									
R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FcMIN	4570	4550	4620	4560	4610	4610	4590	4660	4600	4630

Tablica 14c Izračunate količine brašna (t) za proizvodnju 30 t smjese brašna za pecivo mase 700 g uz minimalne cijene i zadovoljavanje minimalnih zahtjeva

R.br.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oznaka kultivara	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)	M (t)
LU	24	26	0	26	23	24	24	25	0	0
SA	1	1	26	1	1	1	1	0	25	24
FI	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
BE	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
RE	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0
TE	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
OC	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
OS20	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
OS	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
SL	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
ZI	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
DI	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0

Pri zadovoljavanju maksimalno postavljenih zahtjeva za pecivo mase 700 g, također zadanih od strane industrije, program ne nudi rješenja primjenom metode linearnog programiranja. Potrebno je maknuti ograničenje da konačna smjesa brašna bude 30 tona te ograničenja zadanih količina pojedinih kultivara pšenice. **Slika 6** prikazuje funkciju cilja za izračunavanje maksimalnih cijena.



Slika 6 Funkcija cilja za izračunavanje maksimalnih cijena

Tablice 15a i 15b prikazuju rezultate optimiranja sastava smjese bez zadanih količina pojedinih kultivara i bez zadane količine smjese od 30 t.

Tablica 15a Izračunate maksimalne cijene (€) za proizvodnju 0,75 t smjese brašna za pecivo mase 700 g uz zadovoljavanje maksimalnih zahtjeva

Fc	150LU + 150SA + 170FI + 170BE + 170RE + 190TE + 190OC + 160OS20 + 190OS + 160SL + 160ZI + 190DI
FcMAX	128,1479

Tablica 15b Izračunate količine brašna (t) za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g uz maksimalnu cijenu i zadovoljavanje maksimalnih zahtjeva

	M (t)
LU	0
SA	0
FI	0,4614588
BE	0
RE	0,292352
TE	0
OC	0
OS20	0
OS	0
SL	0
ZI	0
DI	0

S druge strane, model za izračunavanje minimalnih cijena za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g, ali uz zadovoljavanje maksimalnih zahtjeva nije izvediv. **Slika 7** prikazuje ekranski prikaz izvješća pri takvom optimiranju.

```

Reports Window
LP OPTIMUM FOUND AT STEP      6

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1)      0.0000000E+00

VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
LU            0.000000      0.150000
SA            0.000000      0.150000
FI            0.000000      0.170000
BE            0.000000      0.170000
RE            0.000000      0.170000
TE            0.000000      0.190000
OC            0.000000      0.190000
OS20          0.000000      0.160000
OS            0.000000      0.190000
SL            0.000000      0.160000
ZI            0.000000      0.160000
DI            0.000000      0.190000

ROW      SLACK OR SURPLUS      DUAL PRICES
P_MAX)      15.000000      0.000000
WG_MAX)      23.000000      0.000000
WA_MAX)      62.000000      0.000000
DDT_MAX)      4.500000      0.000000
ST_MAX)      1.600000      0.000000
R_MAX)      6.000000      0.000000
DS_MAX)      120.000000      0.000000
EXT_MAX)      160.000000      0.000000
RS_MAX)      240.000000      0.000000
REX_MAX)      1.700000      0.000000
RMA_MAX)      400.000000      0.000000
E_MAX)      80.000000      0.000000
FNO_MAX)      330.000000      0.000000
VIS_MAX)      700.000000      0.000000

```

Slika 7 Ekranski prikaz izvješća pri izračunavanju minimalnih cijena za proizvodnju smjese brašna za pecivo mase 700 g uz zadovoljavanje maksimalnih zahtjeva

5. RASPRAVA

U svakoj od 12 ćelija silosa može se nalaziti 1500 tona brašna dobivenog od određenog kultivara pšenice. Tijekom godine dolazi do potrošnje brašna te se raspoloživa količina pojedinog brašna za preradu u različite pekarske proizvode mijenja. Dostupne količine brašna u **Tablici 6** su jednim dijelom nasumične dok dio količina u sljedećim simulacijama ovisi o rezultatima u prethodnoj. Onom kultivaru koji je činio većinu smjese ograničena je masa u sljedećoj simulaciji. Na temelju izabranih količina, koje u modelu ujedno predstavljaju i ograničenja, u LINGO programu provode se simulacije.

Tablica 7a prikazuje minimalnu cijenu smjese brašna za proizvodnju peciva mase 700 g uz zadovoljavanje minimalnih zahtjeva od strane industrije za navedeni proizvod uz raspoloživost količina brašna prema **Tablici 6**. Najjeftiniju smjesu brašna čine Lucija (LU) i Sana (SA) u iznosu od 4500 eura za 30 tona smjese i to kao 29 tona Lucije (LU) i 1 tona Sane (SA) (**Tablica 7b**). Budući su u toj simulaciji dostupna samo ta dva kultivara te im je cijena jednaka i najniža u odnosu na cijene ostalih kultivara, receptura je najjeftinija. Također, svakog kultivara koji je u određenoj simulaciji raspoloživ mora biti najmanje 1 tona.

S ciljem izračunavanja maksimalnih cijena prilikom zadovoljavanja minimalnih zahtjeva od strane pekarske industrije prikazana je **Tablica 8a** u kojoj su konkretno prikazane cijene za takvu zadanu funkciju cilja. Maksimalna cijena uz zadovoljavanje minimalnih kriterija industrije vidljiva je u četvrtoj simulaciji (**Tablica 8a**) kada smjesu brašna za pecivo mase 700 g čine četiri kultivara, Osječanka (OS), Slavonija (SL), Žitarka (ZI) i Divana (DI). Cijena 30 tona takve smjese iznosi 5470 eura. Čini ju Osječanka (OS) čija je tržišna cijena 190 €/t i to u količini od 27 tona. Ostatak smjese u toj simulaciji čini po 1 tona Slavonije (SL), Žitarke (ZI) i Divane (DI) (**Tablica 8b**).

U **Tablici 9** prikazana je razlika u cijenama između minimalne i maksimalne cijene smjese brašna prilikom zadovoljavanja minimalnih zahtjeva postavljenih za pecivo mase 700 g za isti sastav smjese. Najveća razlika u cijeni vidljiva je u četvrtoj simulaciji kada ta razlika iznosi 780 eura za istu smjesu brašna potrebnu pri proizvodnji peciva mase 700 g.

Nadalje, cilj je bio vidjeti mogu li se u slučaju dostupnosti samo jednog od 12 kultivara u silosnim ćelijama ispuniti uvjeti postavljeni od strane pekarske industrije i pripremiti brašno za proizvodnju peciva mase 700 g. U svakoj simulaciji raspoloživ je samo jedan kultivar i to u maksimalno dostupnoj količini od 1500 tona. Svaki kultivar zastupljen u izradi modela, zasebno

može ispuniti minimalne zahtjeve pekarske industrije za brašno potrebno za proizvodnju peciva mase 700 g.

Daljnjim optimiranjem cilj je bio vidjeti može li se potrebna smjesa brašna napraviti po još jeftinijoj cijeni od one u **Tablici 7a** i to tako da se isključi uvjet koji kaže da svakog kultivara koji čini smjesu mora biti najmanje 1 tona. U svim simulacijama cijena smjese je niža nego što je bila izračunata cijena smjese dobivena uz postavljeni uvjet. Jedino je u prvoj simulaciji cijena smjese jednaka u oba slučaja jer je cijena kultivara predloženih za izradu smjese jednaka. Najveća razlika cijena smjese sa zadanim količinama kultivara i bez zadanih količina uočena je na šestoj i desetoj simulaciji kada ona iznosi po 250 eura. Sastavi predloženih smjesa su bili 5 t Lucije (LU) i 25 t Sane (SA) u šestoj simulaciji i 30 t Lucije (LU) u desetoj simulaciji.

U sljedećim su simulacijama raspoložive količine onih vrsta brašna čije su vrijednosti svojstava kakvoće manje od prosječnih u analiziranom skupu kultivara. Kultivari i njihove vrijednosti parametara kakvoće te prosječne vrijednosti istih prikazani su u **Tablicama 4a-b, -b**. Svaka simulacija odnosi se na pojedini parametar (**Tablica 14a**). U prvoj simulaciji 7 je kultivara ispod prosječne vrijednosti proteina. U drugoj simulaciji nalazi se 5 kultivara ispod prosječne vrijednosti vlažnog glutena. U trećoj također 5 kultivara ima broj padanja manji od prosječne. U četvrtoj isto 5 kultivara ima manju sposobnost upijanja vode od prosječne. Peta simulacija prikazuje 8 kultivara čije je vrijeme razvijanja tijesta manje od prosječne. Stabilnost manju od prosječne u šestoj simulaciji ima 7 kultivara. Otpor je također manji kod 7 kultivara u sedmoj simulaciji. Stupanj omekšanja manji od prosječnog ima 6 kultivara u osmoj simulaciji. U devetoj simulaciji manja rastezljivost od prosječne zabilježena je kod 6 kultivara. Deseta simulacija prikazuje da 7 kultivara ima vrijednost energije manju od prosječne. Može se primijetiti da sastav smjese sada uglavnom čine prva dva kultivara, Lucija (LU) i Sana (SA). U **Tablici 14b** prikazane su minimalne cijene smjese brašna za sve simulacije. U **Tablici 14c** vidljivo je da su formulacije konačne količine smjese moguće, te da finalne smjese brašna ispunjavaju uvjete postavljene od strane pekarske industrije za pecivo mase 700 g.

Model u kojem je cilj zadovoljiti maksimalne cijene uz maksimalne zahtjeve postavljene od strane pekarske industrije za pecivo mase 700 g, moguć je uz izmijenjena ograničenja i uvjete. **Tablica 15a** prikazuje izračun maksimalne cijene za izmijenjene uvjete te ona iznosi 128,15 € za takvu smjesu. Smjesu u ovom slučaju čine samo dva kultivara i to Ficko (FI) u količini 0,46 t i

Renata (RE) u količini 0,29 t (**Tablica 15b**). Ostali kultivari premašuju najviše dopuštene granične vrijednosti i ne mogu sudjelovati u kreiranju smjese.

S druge strane, model koji će ponuditi rješenje za minimalne cijene uz zadovoljavanje maksimalnih kriterija za pecivo mase 700 g nije izvediv. To je model za koji ne postoji skup varijabilnih vrijednosti koje istovremeno zadovoljavaju sva ograničenja. **Slika 7** prikazuje izvješće o izračunu za takav model. Smanjeni troškovi (eng. *Reduced Cost*) pokazuju za koliko će se povećati ukupna cijena ukoliko vrijednost desne strane ograničenja povećamo za jednu jedinicu. Stupac manjak ili višak (eng. *Slack or Surplus*) donosi podatke o tome koliko smo blizu ograničenja. Sve vrijednosti veće od nula u ovom slučaju su manjak. Za ovako postavljen model LINGO ne nalazi skup dopustivih rješenja.

6. ZAKLJUČCI

- U programu LINGO izrađen je i validiran model za optimiranje sastava smjese brašna, proizvedene od pšenica različite kakvoće, za izradu 30 t peciva mase 700 g.
- Model je primjenjivan na različite kombinacije brašna različitih sastava te je utvrđeno da omogućava izbor najjeftinije i najskuplje recepture, koje zadovoljavaju postavljena ograničenja.
- Cijena 30 tona smjese brašna, za pecivo mase 700 g, prema najjeftinijoj recepturi iznosi 4500 eura uz zadovoljavanje minimalno postavljenih zahtjeva. Smjesu čini 29 tona Lucije i 1 tona Sane, uz uvjet da svakog kultivara koji čini smjesu mora biti najmanje 1 tona.
- Cijena 30 tona smjese brašna, za pecivo mase 700 g, prema najskupljijoj recepturi iznosi 5640 eura uz zadovoljavanje minimalno postavljenih zahtjeva. Smjesu čini 27 tona Osječanke, 1 tona Slavonije, 1 tona Žitarke i 1 tona Divane, uz uvjet da svakog kultivara koji čini smjesu mora biti najmanje 1 tona.
- U slučaju dostupnosti samo jednog kultivara, model će biti izvediv. Svaki kultivar pojedinačno može zadovoljiti sve minimalne postavljene zahtjeve pekarske industrije.
- Uklanjanjem uvjeta da svakog dostupnog kultivara mora biti barem 1 tona u finalnoj smjesi, sve simulacije, osim prve gdje su cijene jednake, imale su jeftiniju recepturu za 20 do 250 €.
- U slučaju dostupnosti samo onih kultivara koji imaju vrijednost nekih svojstava kakvoće ispod prosječne vrijednosti u analiziranom skupu podataka, model je izvediv te se minimalna cijena kreće od 4550 do 4660 €.
- Pri zadovoljavanju maksimalnih zahtjeva pekarske industrije za pecivo mase 700 g potrebno je izuzeti uvjete konačne smjese od 30 tona te postavljene uvjete minimalne i maksimalne količine pojedinih kultivara. Za maksimalnu cijenu, model pri novim uvjetima daje rješenje od 128,15 € za smjesu brašna koju čine samo Ficko (FI) i Renata (RE). Drugi kultivari premašuju najviše dopuštene granične vrijednosti i ne mogu kreirati smjesu.
- Za izračunavanje minimalnih cijena, a zadovoljavanje maksimalnih zahtjeva model nema rješenje. Za set odabranih kultivara ne postoji skup dopustivih rješenja koja istovremeno zadovoljavaju sva ograničenja.
- Optimiranje sastava smjese brašna donosi financijsku uštedu i omogućuje proizvodnju i isporuku namjenskog brašna za pojedine industrijske proizvode. Industrija tada, najčešće, nema potrebu za upotrebom aditiva i enzima kako bi nadomjestila nedostatke samog brašna.

- LINGO omogućuje izradu upotrebljivog matematičkog modela primjenom linearnog programiranja, ali algoritam nema raspoloživi skup dopustivih rješenja za sve kombinacije ograničenja.

7. LITERATURA

- H. Goesaert, K. Brijs, W.S. Veraverbeke, C.M. Courtin, K. Gebruers, J.A. Delcour. »Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality.« *U Trends in Food Science & Technology*, 12-30, Volume 15, Issues 1-3. 2005.
- Inamdar, A. A. and Suresh, D. S. »Application of color sorter in wheat milling.« *International Food Research Journal*, 2014: 2083-2089.
- LINGO *The Modeling Language and Optimizer - User Manual*. 1415 North Dayton Street, Chicago, Illinois 60642: LINDO SYSTEMS INC., 2020.
- Marek, Hana. *Reološka svojstva brašna od tijesta sorti ozima pšenice roda 2017. godine*. Diplomski rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2018.
- MP Ministarstvo poljoprivrede, Pravilnik o žitaricama i proizvodima od žitarica, NN 101/2022 (2.9.2022.)
- Shewry, P. R. »Wheat.« *Journal of Experimental Botany*, 2009: 1535-1553, Volume 60, Issues 6.
- Stojanović, Filip. *Primjena kemometrijskih metoda za razvrstavanje namjenskog brašna prema zahtjevima prerađivača*. Diplomski rad, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2019.
- Ugarčić-Hardi, Ž. »Tehnologija proizvodnje i prerade brašna.« Interna skripta Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek,, 1999.
- W Kim, S.G Choi, W.L Kerr, J.W Johnson, C.S Gaines. »Effect of heating temperature on particle size distribution in hard and soft wheat flour.« *Journal of Cereal Science*, 2004: 9-16, Volume 40, Issues 1.
- Web, 1. *Trade Finance Global : All You Need to Know About Wheat*. 2023. <https://www.tradefinanceglobal.com/grains/wheat/> [14.5.2023.]
- Web, 2. *NAWG National Association of Wheat Growers*. n.d. <https://wheatworld.org/wheat-101/> [17.5.2023.]
- Web, 3. *Agroklub (R)Evolucija poljoprivrede*. n.d. <https://www.agroklub.com/sortna-lista/zitarice/psenica-108/> [26.4.2023.]