

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N

Ivana Belinić
David Kajzogaj
Patricija Lovasić
Iva Udovčić

SIMULACIJSKO MODELIRANJE REDOVA
ČEKANJA U PEKARNICI „STUBIČKE
TOPLICE“

PROJEKT

Varaždin, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N

Ivana Belinić, 0016147210

David Kajzogaj, 0016146827

Patricija Lovasić, 0016146965

Iva Udovčić, 0016148057

Studij: Organizacija poslovnih sustava 1.4

SIMULACIJSKO MODELIRANJE REDOVA ČEKANJA U
PEKARNICI „STUBIČKE TOPLICE“
PROJEKT

Mentor:

Dr. sc. Nenad Perši

Varaždin, studeni 2024.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Opis sustava	3
2.1. Definiranje problema	4
2.2. Definiranje poslovnog cilja.....	4
3. Prikupljanje podataka	6
3.1. Definiranje i analiza varijabli problema	6
3.2. Statistička obrada ulaznih podataka	7
3.2.1. Vrijeme usluge	7
3.2.2. Vrijeme između dolazaka	9
3.2.3. Vrijeme čekanja	11
3.2.4. Izrada tablica sa ulaznim podacima za provedbu simulacije.....	13
4. Konceptualni model	16
4.1. Vrednovanje konceptualnog modela	20
5. Izrada simulacije originalnog sustava	22
5.1. Verifikacija rezultata simulacije originalnog sustava.....	23
5.1.1. Varijabla Vrijeme između dolazaka	23
5.1.1.1. Test postotnog odstupanja	24
5.1.1.2. Hi kvadrat test (Chi-squared test)	24
5.1.1.3. Kolmogorov-Smirnov test.....	25
5.1.2. Varijabla Vrijeme usluge.....	26
5.1.2.1. Test postotnog odstupanja	26
5.1.2.2. Hi kvadrat test (Chi-squared test)	27
5.1.2.3. Kolmogorov-Smirnov test.....	28
6. Plan simulacijskog eksperimenta	29
7. Izrada alternativnih modela	30
7.1. Alternativa 1	30
7.2. Alternativa 2	30
8. Analiza i usporedba rezultata	32
9. Zaključak.....	34
Popis slika	36
Popis tablica	37
Prilozi (1, 2, ...).....	38

1. Uvod

Pekarska industrija jedna je od najvažnijih sastavnica prehrambene industrije, s ključnom ulogom u svakodnevnom životu ljudi. Pekarski proizvodi, poput kruha i svježih peciva, osnovna su prehrambena namirnica i dio su prehrane gotovo svake obitelji. Osiguravanje stalne dostupnosti ovih proizvoda zahtijeva učinkovite i optimizirane procese, kako u proizvodnji, tako i u distribuciji i prodaji. Kvaliteta usluge, brzina opskrbe te smanjenje vremena čekanja kupaca od velike su važnosti za zadovoljstvo potrošača i uspjeh poslovanja. Upravo zbog toga, upravljanje redovima čekanja postaje ključno za poslovne subjekte poput pekarnica koje svakodnevno opslužuju veliki broj kupaca.

S obzirom na izazove upravljanja procesima u pekarskoj industriji, tema ovog projekta odnosi se na simulacijsko modeliranje redova čekanja za Pekarnicu Stubičke Toplice. Simulacijsko modeliranje predstavlja moćan alat za analizu i optimizaciju poslovnih sustava, posebice u okruženjima gdje postoji potreba za poboljšanjem upravljanja resursima i smanjenjem vremena čekanja. Korištenjem simulacija moguće je replicirati složene procese, predvidjeti različite scenarije i identificirati potencijalne probleme unutar sustava, čime se omogućuje unaprijeđenje operativne učinkovitosti i povećanje zadovoljstva kupaca.

Pekarnica Stubičke Toplice, smještena na adresi Ul. Ljube Babića Đalskog 27, 49244, Stubičke Toplice, poznata je po svojoj kvaliteti i kontinuiranoj ponudi svježih pekarskih proizvoda. Njihova primarna djelatnost obuhvaća proizvodnju i prodaju kruha, svježih peciva te slastičarskih proizvoda. Ono što ovu pekarnicu čini posebnom jest činjenica da sve proizvode pripremaju ručno, bez nepotrebnih aditiva, uz korištenje visokokvalitetnih sastojaka, čime osiguravaju vrhunski okus i kvalitetu. Pekarnica Stubičke Toplice jedina je u okolici koja je otvorena do kasno u večernjim satima, što privlači veliki broj kupaca, posebno tijekom najfrekventnijih sati kada se formiraju redovi čekanja. Pekarnica se nalazi na strateškoj lokaciji u blizini crkve, škole i središta općine, što je čini lako dostupnom velikom broju ljudi koji svakodnevno prolaze tim područjem, čime se dodatno povećava broj posjetitelja. Iako ljubazno osoblje pekarnice nastoji pružiti vrhunsku uslugu, razdoblja povećane potražnje često rezultiraju gužvama i dužim čekanjem, što može negativno utjecati na korisničko iskustvo.

Za izradu simulacijskog modela bit će prikupljeni podaci o trenutnom poslovanju pekarnice, uključujući broj kupaca koji pekarnicu posjećuju u različitim razdobljima dana, prosječno trajanje usluživanja pojedinog kupca, vrijeme čekanja na početak usluge te vrijeme čekanja između različitih faza procesa. Projekt će obuhvatiti analizu i modeliranje ključnih procesa prodaje pekarskih proizvoda, počevši od ulaska kupca u pekarnicu, preko naručivanja i dobivanja narudžbe koje uključuje i izvršenje plaćanja, pa sve do izlaska iz pekarnice. Ovaj

sveobuhvatan pristup omogućit će detaljno praćenje vremena čekanja i dinamike redova čekanja u svakoj fazi procesa, čime će se pomoći u identificiranju specifičnih problema koji doprinose stvaranju gužvi.

Simulacija će omogućiti uvid u načine optimizacije raspodjele resursa, poput broja prodavača, potrebne opreme i prostora, kako bi se smanjilo vrijeme čekanja i povećala učinkovitost cjelokupnog procesa. Cilj je također predložiti konkretne promjene koje bi mogle pozitivno utjecati na kvalitetu usluge, smanjiti stres i nezadovoljstvo kupaca te optimizirati poslovanje same pekarnice. Rezultati simulacijskog modela poslužiti će kao temelj za donošenje odluka o mogućim poboljšanjima u poslovnom procesu i unapređenju usluge.



Slika 1. Pekarnica Stubičke Toplice

(Izvor: <https://lh3.googleusercontent.com/p/AF1QipNvrl-U4Z7tG9q8R0nntW04ew1EkwcX-4ZFyjik=s1360-w1360-h1020-rw>)

2. Opis sustava

Pekarnica Stubičke Toplice posluje šest dana u tjednu, od ponedjeljka do subote, s radnim vremenom od 5:30 do 20:30 sati. Nedjeljom, u skladu s važećim zakonskim propisima koji omogućuju rad samo 16 nedjelja godišnje, pekarnica radi od 6:00 do 14:00 sati. Unutar pekarnice rade ukupno dvije zaposlene radnice koje se izmjenjuju u dvije smjene. Prva smjena traje od 5:30 do 13:00 sati (jutarnja smjena), dok druga traje od 13:00 do 20:30 sati (popodnevna smjena). Nedjeljom pekarnica posluje samo u jutarnjoj smjeni, od 6:00 do 14:00 sati. Prema navedenom, trajanje smjene tijekom radnih dana iznosi 7 sati i 30 minuta, dok nedjeljna smjena traje 8 sati.

Glavni prostor pekarnice podijeljen je na nekoliko funkcionalnih cjelina. Središnji element čini velika prodajna vitrina u kojoj su izloženi razni pekarski proizvodi. Iza vitrine, na zidu, nalazi se prostrana polica s kruhovima, čime se optimizira prikaz i dostupnost proizvoda. Kupci naručuju proizvode direktno ispred prodajne vitrine, preuzimaju ih na istom mjestu te se potom kreću prema blagajni koja je strateški smještena blizu izlaza kako bi se osigurao jednostavan i učinkovit protok kupaca.

Pekarnica Stubičke Toplice nudi usluge svojim kupcima kroz nekoliko ključnih procesa, a tijekom procesa mijenja se ovisno o tome postoji li red čekanja ili ne.

Kada postoji red čekanja, kupac koji ulazi u pekarnicu najprije primjećuje da je potrebno pričekati svoj red prije nego što može naručiti proizvode. Red čekanja obično nastaje u vremenskim periodima kada je potražnja za pekarskim proizvodima veća. Kad dođe na red, kupac izlazi iz reda čekanja i pristupa vitrini. Ovdje, kupac usmeno komunicira sa radnicom, govoreći joj što želi odabrati. Nakon što je kupac iznio svoju narudžbu, radnica odmah priprema, odnosno pakira naručene proizvode. Kada su proizvodi spremni, radnica ih predaje kupcu, koji zatim odlazi do blagajne kako bi obavio plaćanje. Plaćanje se vrši gotovinom ili karticom, a nakon što je transakcija završena, kupac napušta pekarnicu.

U slučaju kada u pekarnici nije prisutan red čekanja, proces je brži jer kupac odmah može pristupiti vitrini i naručiti proizvode bez potrebe za čekanjem. Kupac jednostavno izgovara što želi, a radnica odmah priprema, odnosno pakira proizvode prema njegovoj narudžbi. Nakon što su proizvodi spremni, radnica ih predaje kupcu, koji odlazi na blagajnu i izvršava plaćanje. Plaćanje se obavlja gotovinom ili karticom, a nakon što je plaćanje obavljeno, kupac izlazi iz pekarnice.

Bez obzira postoji li red čekanja ili ne, cilj pekarnice je pružiti učinkovitu i brzu uslugu te osigurati visoku kvalitetu proizvoda. Iako prisutnost reda čekanja može produljiti ukupno

vrijeme čekanja, kada red ne postoji, cijeli proces se odvija znatno brže, omogućujući kupcu da uživa u brznoj usluzi i kvalitetnim proizvodima.

Na temelju svih navedenih informacija, odlučeno je da će se simulacijski model izrađivati za razdoblje od tri dana – četvrtak, petak i nedjelju – u vremenskim intervalima najveće gužve.

2.1. Definiranje problema

Općenito, pekare se svakodnevno suočavaju s problemima u organizaciji usluga, osobito kada kupci traže nešto po svojim preferencijama ili ono što trenutno nema u asortimanu zbog čega dolazimo do dugih redova i čekanja. Iako pekara nudi raznovrsne i kvalitetne proizvode, velika potražnja, posebno u jutarnjim satima i tijekom pauza za ručak, može dovesti do preopterećenja zaposlenika i produljenog vremena usluge. Kapacitet pekare je ograničen, rade dvije prodavačice, svaka u svojoj smjeni, koje posluju prema redoslijedu dolaska. Često se događa da vrijeme čekanja varira, jer složenost narudžbi i zahtjeva ovisi o proizvodima koje kupci žele, primjerice specijalna peciva, tostirani sendviči ili nešto drugo, ali po vlastitim preferencijama.

U pekarstvu, redovi i čekanje najizraženiji su u periodima kada je potražnja najveća — rano ujutro, za doručak i tijekom pauze za ručak, a posebno u vrijeme velikog odmora školaraca. Zbog dugog čekanja, kupci često postaju nestrpljivi, a nezadovoljstvo može dovesti do pada prodaje. Kako bi se smanjile gužve i optimiziralo poslovanje, pekare mogu razmotriti uvođenje automata za prodaju sendviča, proširenje kapaciteta usluge ili prilagodbu radnog vremena. Takve mjere mogle bi olakšati rad zaposlenicima, skratiti vrijeme čekanja i poboljšati cjelokupno iskustvo kupaca.

2.2. Definiranje poslovnog cilja

Cilj projekta za pekaru je optimizirati proces usluživanja kupaca i smanjiti vrijeme čekanja, posebno tijekom udarnih perioda. Pekara teži pružiti vrhunsku kvalitetu usluge i proizvoda, uz minimalno vrijeme čekanja kupaca u redovima.

Specifičan cilj je smanjiti prosječno vrijeme čekanja kupca na 1 minutu i 30 sekundi kako bi se klijenti brže usluživali pri čemu se ne bi stvarali redovi čekanja, a ujedno bi se i smanjilo vrijeme čekanja na usluge. Navedeno je moguće ostvariti kroz praćenje i mjerenje vremena usluge i vremena čekanja. Trenutno prosječno vrijeme čekanja iznosi 7 minuta i 47 sekundi.

Kako bi se ostvarili ovi ciljevi, planirano je analizirati poslovne procese pekare kroz simulaciju i modeliranje, te testirati različite scenarije i pristupe za poboljšanje rada. Na temelju

prikupljenih podataka i promatranja, identificirat će se ključni periodi najveće gužve te prilagoditi raspored zaposlenika i kapacitet usluge.

Krajnji cilj je poboljšati samu uslugu smanjenjem čekanja kupca u redu čekanja te ujedno i smanjenjem vremena trajanja same usluge. Na temelju dobivenih rezultata simulacija donijet će se odluke i zaključci o promjenama kako bi se ostvarili ovi poslovni ciljevi.

3. Prikupljanje podataka

Za potrebe projekta prikupljaju se sirovi podaci, s obzirom na to da pekara prethodno nije vodila evidenciju potrebnih informacija. Kako bi se dobili odgovarajući podaci, bilo je potrebno prikupljanje provoditi kroz duži vremenski period. Podaci su prikupljeni u periodima najveće gužve tijekom tri dana: četvrtka, petka i nedjelje, u sljedećim vremenskim intervalima: četvrtak od 7:00 do 8:00, petak od 10:00 do 11:00 i nedjelja od 12:00 do 13:00. Ova metoda omogućuje uvid u specifične obrasce potražnje i ponašanje kupaca tijekom različitih dana u tjednu.

3.1. Definiranje i analiza varijabli problema

Podaci se bilježe u nekoliko kategorija koje su navedene u nastavku:

- Vrijeme dolaska – vrijeme kada kupac uđe u pekaru
- Vrijeme naručivanja – vrijeme kada kupac krene naručivati
- Vrijeme usluživanja – vrijeme kada zaposlenica priprema narudžbu i kada se izvršava plaćanje narudžbe
- Vrijeme odlaska – vrijeme kada kupac napušta pekaru
- Vrijeme usluge – ukupno vrijeme koje je proteklo od trenutka kada kupac počne s narudžbom do trenutka kada dobije narudžbu, uzimajući u obzir vrijeme usluživanja i vrijeme naručivanja
- Vrijeme čekanja – vrijeme koje protekne od trenutka kada kupac uđe u pekaru do trenutka kada dolazi na red za narudžbu

Sva vremena bilježe se u formatu hh:mm:ss te smo koristili Excel kako bi vrijeme pretvorili u sekunde. Kako bi imali dovoljan uzorak podataka potrebno je prikupiti više od 30 valjanih zapisa što predstavlja veliki statistički uzorak podataka za analizu. U tablici u prilogu na listu pod nazivom „Podaci“ prikazani su prikupljeni sirovi podaci. Prema podacima iz tablice izračunato je vrijeme usluge kao:

Vrijeme usluge = (Vrijeme usluživanja – Vrijeme naručivanja) + (Vrijeme odlazaka – Vrijeme usluživanja).

Vrijeme usluge izračunato je kako bi znali koliko dugo je trajalo naručivanje i usluživanje, točnije računa se zbroj zato što je zaposlenik zauzet od trenutka kada klijent krene naručivati. Nakon toga računali smo Vrijeme između dolazaka kao razliku vremena dolaska između dva klijenta. U tablici u prilogu na listu pod nazivom „Novi podaci“ možemo vidjeti dobivene

rezultate za Vrijeme usluge, Vrijeme između dolazaka i Vrijeme čekanja. Brojevi koji su crveni izbačeni su jer predstavljaju stršila koja odstupaju u grafičkom prikazu.

3.2. Statistička obrada ulaznih podataka

Osnovna obrada podatka napravljene je u Excelu. Za statističku analizu podataka korišten je alat EasyFit. EasyFit je program namijenjen za analizu podataka koji omogućava brzo prilagođavanje distribucija i izračun deskriptivne statistike. Grafovi su također izrađeni u alatu EasyFit.

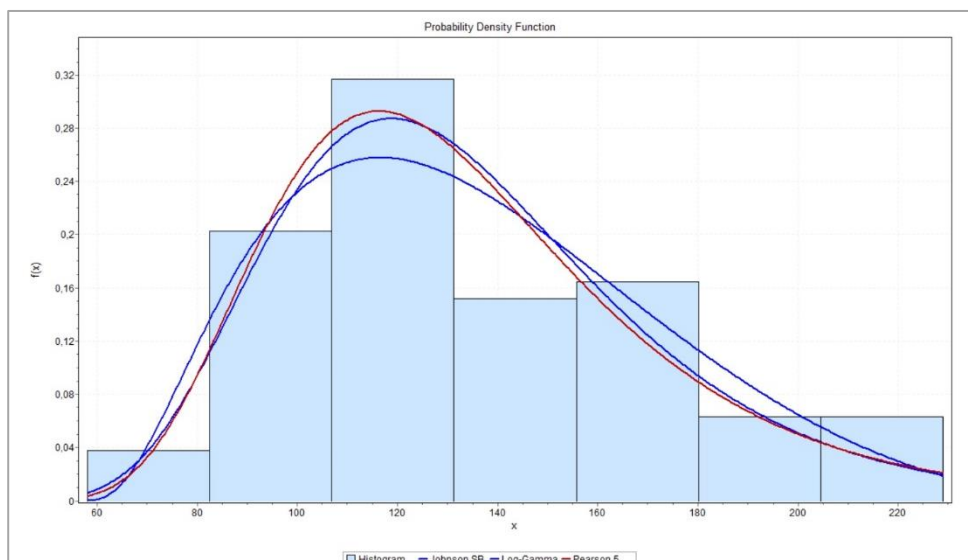
Analize su provedene za tri ulazne varijable: Vrijeme usluge, Vrijeme između dolaska i Vrijeme čekanja, uzimajući u obzir samo prethodno spomenuta razdoblja unutar određenih dana. Na temelju toga za prikaz statističke analize korišteni su grafički prikazi. Na svakom grafu su prikazane po tri distribucijske linije koje je alat predložio. Također, prikazani su i rezultati Kolmogorov-Smirnov testa.

3.2.1. Vrijeme usluge

Vrijeme usluge označava ukupno vrijeme koje je proteklo od trenutka kada kupac počne s narudžbom do trenutka kada dobije narudžbu, uzimajući u obzir vrijeme usluživanja i vrijeme naručivanja. Na donjoj slici (Slika 2) prikazana je distribucija usluživanja generirana u alatu EasyFit. Prema prikazanom grafu, podaci ne odgovaraju u potpunosti odabranim distribucijama jer se većina podataka nalazi iznad ili ispod odgovarajuće krivulje. Analizirane su tri vrste distribucijskih krivulja: Johnson SB, Log-Gamma i Pearson 5.

Idealan scenarij bio bi da krivulja prolazi kroz sredinu svakog razreda, čime bi precizno opisivala vrijednosti. Ako krivulja prolazi lijevo od sredine razreda, ona obuhvaća više podataka nego što je potrebno, dok prolazak desno od sredine znači da se uzima manje podataka od stvarnog stanja. Dodatno, kada krivulja prelazi iznad razreda, funkcija generira više podataka nego što je potrebno, dok prolazak kroz donji dio razreda ukazuje na prenisku vrijednost i generira premalo podataka. Alat u tom slučaju podatke iznad krivulje smješta u „prazne prostore“ između razreda i krivulje.

S obzirom na navedeno, niti jedna od promatranih distribucijskih krivulja nije se pokazala dovoljno dobrom. Stoga, oslonit ćemo se na podatke dobivene iz tablice za daljnje analize. Osim toga, ovaj graf ima lokalni i globalni maksimum.



Slika 2. Vrijeme usluge – Graf distribucije (Samostalna izrada)

Slika 3 prikazuje rezultate Kolmogorov-Smirnov testa za krivulju Johnson SB. Iz slike možemo uočiti da je vrijednost „P“ veća od α za svaki slučaj te se prema tome prihvaća hipoteza H_0 , a H_1 se odbacuje. Iako su podaci prema ovom testu zadovoljavajući, nećemo ih prihvatiti budući da raspodjela na grafu upućuje na prethodno spomenuti problem.

Johnson SB [#30]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,05629				
P-Value	0,95166				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 3. Vrijeme usluge - KS test -Johnson SB (samostalna izrada)

Slika 4 prikazuje rezultate Kolmogorov-Smirnov testa za krivulju Pearson 5. Uočavamo da se prihvaća hipoteza H_0 budući da je „P“ vrijednost veća od α za svaki slučaj. No, kao i u prethodnom slučaju nećemo koristiti distribuciju koju nam je alat preporučio zbog toga što nam prema grafu velik dio podatka ispada iz pojedinih razreda.

Pearson 5 [#46]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,05753				
P-Value	0,94273				
Rank	2				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 4. Vrijeme usluge – KS test - Pearson 5 (samostalna izrada)

Slika 5 prikazuje rezultate Kolmogorov-Smirnov testa za krivulju Log-Gamma. Vrijednost „P“ veća je od α za svaki slučaj što znači da se prihvća hipoteza H_0 . Međutim, kao i u prethodna dva slučaja, ovo nije u skladu s onim što grafikon prikazuje, stoga odbacujemo distribuciju koju je alat predložio.

Log-Gamma [#35]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,05826				
P-Value	0,93704				
Rank	3				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 5. Vrijeme usluge - KS test - Log-Gamma (samostalna izrada)

3.2.2. Vrijeme između dolazaka

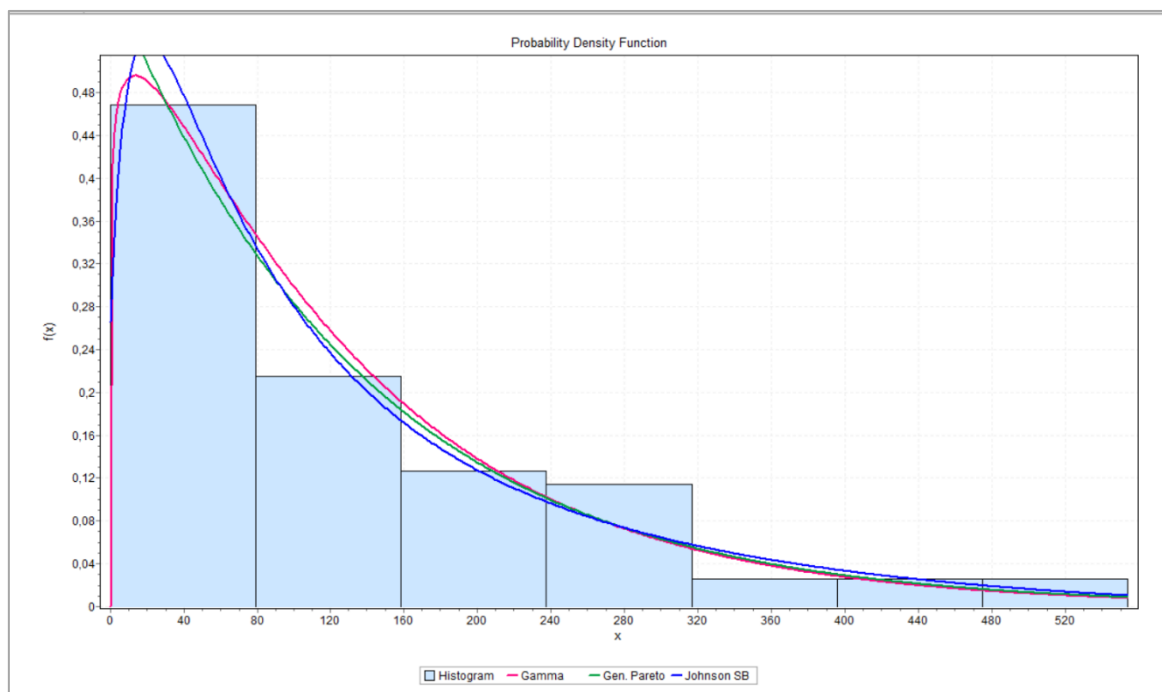
Vrijeme između dolazaka predstavlja vremenski razmak između dolazaka dvaju kupaca, odnosno period koji protekne od trenutka kada jedan kupac uđe u pekaru do trenutka kada sljedeći kupac stigne.

Na donjoj slici (Slika 6) prikazana je distribucija za ulaznu varijablu Vrijeme između dolazaka generirana u alatu EasyFit. Prema prikazanom grafu, podaci ne odgovaraju u potpunosti odabranim distribucijama jer se većina podataka nalazi iznad ili ispod odgovarajuće krivulje. Analizirane su tri vrste distribucijskih krivulja: Johnson SB, Gamma i Gen.Pareto.

Idealan scenarij bio bi da krivulja prolazi kroz sredinu svakog razreda, čime bi precizno opisivala vrijednosti. Ako krivulja prolazi lijevo od sredine razreda, ona obuhvaća više podataka nego što je potrebno, dok prolazak desno od sredine znači da se uzima manje podataka od stvarnog stanja. Dodatno, kada krivulja prelazi iznad razreda, funkcija generira više podataka nego što je potrebno, dok prolazak kroz donji dio razreda ukazuje na prenisku vrijednost i

generira premalo podataka. Alat u tom slučaju podatke iznad krivulje smješta u „prazne prostore“ između razreda i krivulje.

S obzirom na navedeno, niti jedna od promatranih distribucijskih krivulja nije se pokazala dovoljno dobrom. Stoga ćemo se osloniti na podatke dobivene iz tablice za daljnje analize.



Slika 6. Vrijeme između dolazaka – Graf distribucije (samostalna izrada)

Slika 7 prikazuje Kolmogorov-Smirnov test za Gamma distribuciju. Vidljivo je da je vrijednost „P“ veća od α za svaki slučaj pa se prihvaća hipoteza H_0 . No, ove podatke nećemo prihvatiti budući da se iz grafa vidi da mnogi podaci nisu uključeni.

Gamma [#20]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,05751				
P-Value	0,94284				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 7. Vrijeme između dolazaka - KS test - Gamma (samostalna izrada)

Slika 8 prikazuje Kolmogorov-Smirnov test za Johnson SB distribuciju. Vidimo da je vrijednost „P“ veća od α za svaki slučaj pa se prihvaća hipoteza H_0 , a odbacuje se hipoteza

H1. No, ove podatke nećemo prihvatiti budući da se iz grafa vidi da mnogi podaci nisu uključeni.

Johnson SB [#30]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,06362				
P-Value	0,88618				
Rank	2				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 8. Vrijeme između dolazaka - KS test - Johnson SB (samostalna izrada)

Slika 9 prikazuje Kolmogorov-Smirnov test za Gen. Pareto distribuciju. Vidimo da je vrijednost „P“ veća od α za svaki slučaj pa se prihvaća hipoteza H0, a odbacuje se hipoteza H1. Međutim, ove podatke nećemo prihvatiti jer graf pokazuje da mnogi podaci nisu uključeni.

Gen. Pareto [#24]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,07621				
P-Value	0,71949				
Rank	3				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 9. Vrijeme između dolazaka - KS test - Gen. Pareto (samostalna izrada)

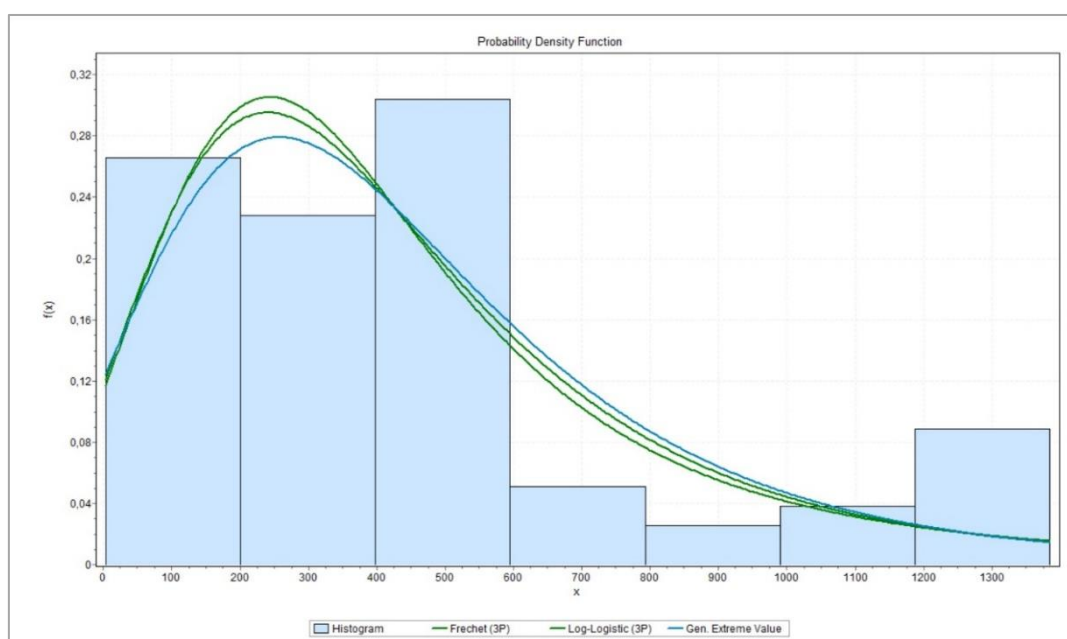
3.2.3. Vrijeme čekanja

Vrijeme čekanja predstavlja koliko dugo kupac čeka na uslugu, odnosno vrijeme koje protekne od trenutka kada kupac uđe u pekara do trenutka kada dođe na red za narudžbu.

Na donjoj slici (Slika 10) prikazana je distribucija za ulaznu varijablu Vrijeme čekanja generirana u alatu EasyFit. Prema prikazanom grafu, podaci ne odgovaraju u potpunosti odabranim distribucijama jer se većina podataka nalazi iznad ili ispod odgovarajuće krivulje. Analizirane su tri vrste distribucijskih krivulja: Frechet (3P), Log-Logistic (3P) i Gen. Extreme Value.

Idealan scenarij bio bi da krivulja prolazi kroz sredinu svakog razreda, čime bi precizno opisivala vrijednosti. Ako krivulja prolazi lijevo od sredine razreda, ona obuhvaća više podataka nego što je potrebno, dok prolazak desno od sredine znači da se uzima manje podataka od stvarnog stanja. Dodatno, kada krivulja prelazi iznad razreda, funkcija generira više podataka nego što je potrebno, dok prolazak kroz donji dio razreda ukazuje na prenisku vrijednost i generira premalo podataka. Alat u tom slučaju podatke iznad krivulje smješta u „prazne prostore“ između razreda i krivulje.

S obzirom na navedeno, niti jedna od promatranih distribucijskih krivulja nije se pokazala dovoljno dobrom. Stoga ćemo se osloniti na podatke dobivene iz tablice za daljnje analize. Osim toga, ovaj graf ima više maksimuma, odnosno ovo je bimodalna distribucija.



Slika 10. Vrijeme čekanja – Graf distribucije (samostalna izrada)

Slika 11 prikazuje Kolmogorov-Smirnov test za Gen. Extreme Value distribuciju. Vidimo da je vrijednost „P“ veća od α za svaki slučaj pa se prihvaća hipoteza H_0 , a hipoteza H_1 se odbacuje. No, ove podatke nećemo prihvatiti budući da se iz grafa vidi da mnogi podaci nisu uključeni.

Gen. Extreme Value [#21]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,07933				
P-Value	0,67298				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 11. Vrijeme čekanja - KS test - Gen. Extreme Value (samostalna izrada)

Slika 12 prikazuje Kolmogorov-Smirnov test za Frechet (3P) distribuciju. Vidimo da je vrijednost „P“ veća od α za svaki slučaj pa se prihvaća hipoteza H_0 , a hipoteza H_1 se odbacuje. No, ove podatke nećemo prihvatiti budući da se iz grafa vidi da mnogi podaci nisu uključeni. Isto vrijedi i za KS test za distribuciju Log-Logistic (3P), budući da je i tu svaki α manji od „P“ vrijednosti (slika 13).

Frechet (3P) [#18]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,08135				
P-Value	0,64252				
Rank	2				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 12. Vrijeme čekanja - KS test – Frechet (3P) (samostalna izrada)

Log-Logistic (3P) [#37]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	79				
Statistic	0,08293				
P-Value	0,61883				
Rank	3				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1186	0,13551	0,15052	0,16832	0,1806
Reject?	No	No	No	No	No

Slika 13. Vrijeme čekanja - KS test – Log-Logistic (samostalna izrada)

3.2.4. Izrada tablica sa ulaznim podacima za provedbu simulacije

Analizirajući stvarne podatke u Excel-u u listu „Podaci“ grupirali smo podatke u klase. Nakon dobivenih klasa provjerili smo postotno odstupanje od stvarnih vrijednosti. Navedeno smo napravili tako da smo računali umnožak svake sredine razreda i frekvencije tog razreda. Kada smo zbrojili sve umnoške, u sljedećem koraku smo zbrojili sve stvarne podatke. Nakon toga, podijelili smo zbroj umnožaka razreda sa zbrojem stvarnih podataka, te smo time dobili rezultat da je odstupanje manje od 5%, što je prihvatljivo.

Na temelju dobivenih grupiranih podataka računa se relativna učestalost i izračun prosjeka, te se iz relativne učestalosti dobiva kumulativni niz koji je potreban za provođenje simulacije. U Tablici 1 u nastavku prikazana je tablica usluživanja koja se u Excelu nalazi na listu „Ulazne varijable“. Učestalost predstavlja broj kupaca koji su bili usluživani određeni broj sekundi.

Vrijeme usluge (sek)	82	117	144	195	Ukupno
Učestalost	19	18	18	19	74
Izračunavanje prosjeka	1558	2106	2592	3705	9961
Relativna učestalost %	25.68	24.32	24.32	25.68	100.00
Kumulativna učestalost	25.68	50.00	74.32	100.00	
Razredi	0.00	25.68	50.00	74.32	
	25.67	49.99	74.31	99.99	

Tablica 1. Tablica s ulaznim podacima za vrijeme usluge (samostalna izrada)

U Tablici 2 Vrijeme čekanja predstavlja vrijeme izraženo u sekundama koje kupac provodi u redu čekanja od trenutka ulaska u pekaru do trenutka naručivanja. Učestalost predstavlja broj kupaca koji su u tom razdoblju ušli u pekaru. Grupe u koje smo grupirali podatke za izradu tablica nalaze se u Excelu na listu „Ulazne varijable“ gdje možemo vidjeti da je odstupanje manje od 5%, što je prihvatljivo.

Vrijeme čekanja (sek)	68	237	391	521	992	Ukupno
Učestalost	16	16	14	15	15	76
Izračunavanje prosjeka	1088	3792	5474	7815	14880	33049
Relativna učestalost %	21.05	21.05	18.42	19.74	19.74	100
Kumulativna učestalost	21.05	42.1	60.52	80.26	100	
Razredi	0	21.05	42.1	60.52	80.26	
	21.04	42.09	60.51	80.25	99.99	

Tablica 2. Tablica s ulaznim podacima za vrijeme čekanja (samostalna izrada)

U prikazanoj Tablici 3. vrijeme između dolazaka predstavlja vrijeme koje protekne od kada dođe prvi kupac pa sve do kada ne uđe drugi kupac u pekaru. Vrijeme je prikazano u sekundama. Učestalost predstavlja broj kupaca koji su u tom intervalu ušli u pekaru. Grupe u koje smo grupirali podatke za izradu tablica nalaze se u Excelu na listu „Ulazne varijable“ gdje možemo vidjeti da je odstupanje manje od 5%, što je prihvatljivo.

Vrijeme između dolazaka (sek)	21	62	135	304	Ukupno
Učestalost	20	20	19	20	79
Izračunavanje prosjeka	420	1240	2565	6080	10305
Relativna učestalost %	25,32	25,32	24,05	25,32	100,01
Relativna učestalost % - ukupno 100	25,31	25,32	24,05	25,32	100
Kumulativna učestalost	25,31	50,63	74,68	100	
Razredi	0	25,31	50,63	74,68	
	25,3	50,62	74,67	99,99	

Tablica 3. Tablica s ulaznim podacima za vrijeme između dolazaka (samostalna izrada)

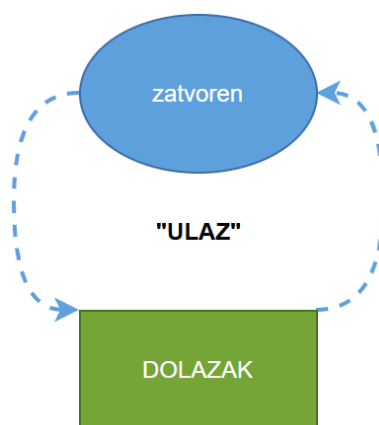
Nakon što smo izračunali i izradili tablice s ulaznim podacima za potrebe simulacije, potrebno je izraditi konceptualni model. Konceptualni model sustava je prikazan i objašnjen u sljedećem poglavlju.

4. Konceptualni model

Konceptualni model predstavlja alat za vizualizaciju i detaljno razumijevanje sustava. Prilikom izrade konceptualnog modela sustava pekare koristi se dijagram ciklusa aktivnosti (DCA), koji jasno i jednostavno grafički prikazuje strukturu sustava kroz pravokutnike za aktivnosti i kružnice za redove čekanja. Prema AS IS modelu pekare prikazano je kako se odvija proces od ulaska kupaca u pekaru pa sve do naplate i izlaska iz sustava. Ovaj model prikazuje postojeće stanje poslovnog procesa bez ikakvih izmjena ili unapređenja, dakle, kako stvari trenutno funkcioniraju. U ovom sustavu identificirane su četiri ključne klase entiteta, konkretno „ULAZ“, „PRODAVAČ“, „MJESTO USLUŽIVANJA/PULT“ i „KUPAC“, gdje su ulaz, prodavač i mjesto usluživanja/pult resursi sustava, dok je kupac privremeni entitet koji prolazi kroz proces sustava. Na početku ciklusa svi entiteti tretiraju se jednako, odnosno svi kupci imaju isti početni status i podliježu istim uvjetima prilikom ulaska u sustav. Aktivnosti i redovi čekanja definirani su na način da odražavaju realno ponašanje sustava, a interakcije među entitetima simuliraju stvarne poslovne procese.

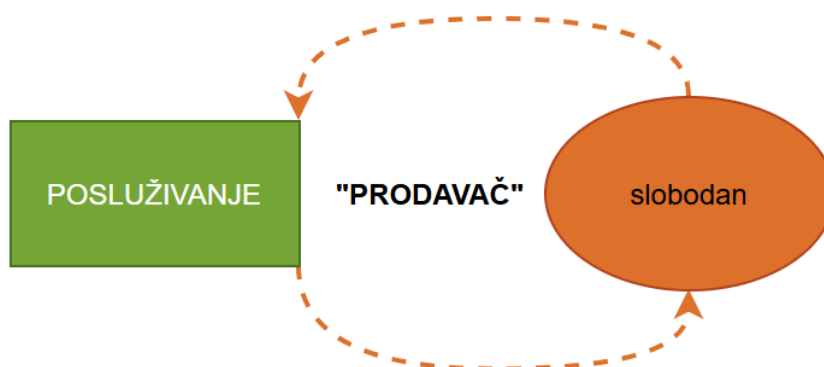
U nastavku će biti prikazani životni ciklusi ključnih entiteta sustava, uz detaljna objašnjenja, a zatim i životni ciklus pekare kao cjelokupnog sustava.

Životni ciklus klase entiteta „ULAZ“, koji se sastoji od reda čekanja „zatvoren“ i aktivnosti „DOLAZAK“, prikazan je u nastavku (Slika 14). Životni ciklus entiteta „ULAZ“ započinje u stanju „zatvoren“, što predstavlja početno stanje sustava u kojem pekara ne prima kupce i aktivnosti nisu omogućene. Ovo stanje odgovara početku simulacije, kada sustav nije aktivan, a traje sve do otvaranja pekare i početka radnog vremena. Aktivnost „DOLAZAK“ označava ulazak kupaca u sustav. U tom trenutku, entitet „ULAZ“ prelazi iz stanja „zatvoren“ u aktivno stanje dolaska, odnosno aktivnost „DOLAZAK“. Ova aktivnost omogućava kontinuirani prijelaz kupaca u sustav tijekom radnog vremena pekare, te traje sve do zatvaranja pekare. Nakon završetka radnog vremena, entitet „ULAZ“ vraća se u stanje „zatvoren“, čime završava njegov životni ciklus do sljedećeg otvaranja pekare.



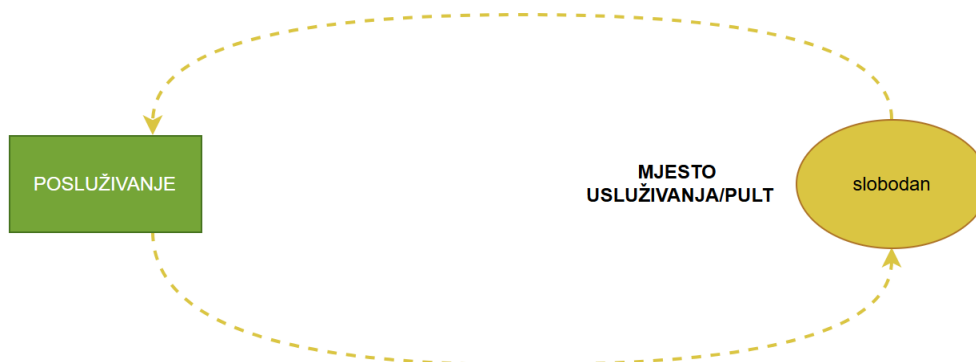
Slika 14. Životni ciklus klase entiteta ULAZ

Životni ciklus klase entiteta „PRODAVAČ“, koji se sastoji od aktivnosti „POSLUŽIVANJE“ i reda čekanja „slobodan“, prikazan je u nastavku (Slika 15). Kada je prodavač u stanju „slobodan“ znači da je spreman za usluživanje novog kupca. Ako se pojavi kupac, prodavač prelazi u aktivnost „POSLUŽIVANJE“ i obavlja uslugu. Aktivnost „POSLUŽIVANJE“ uključuje cjelokupan proces usluživanja, koji obuhvaća i uzimanje narudžbe i naplatu. Prodavač ostaje u aktivnosti „POSLUŽIVANJE“ sve dok se oba dijela procesa – usluživanje i naplata – ne završe. Tek nakon što uspješno završi cjelokupnu aktivnost, prodavač se vraća u stanje „slobodan“ i može uslužiti sljedećeg kupca. Na ovaj način osigurava se da je svaki kupac u potpunosti uslužen prije nego što prodavač prijeđe na sljedećeg.



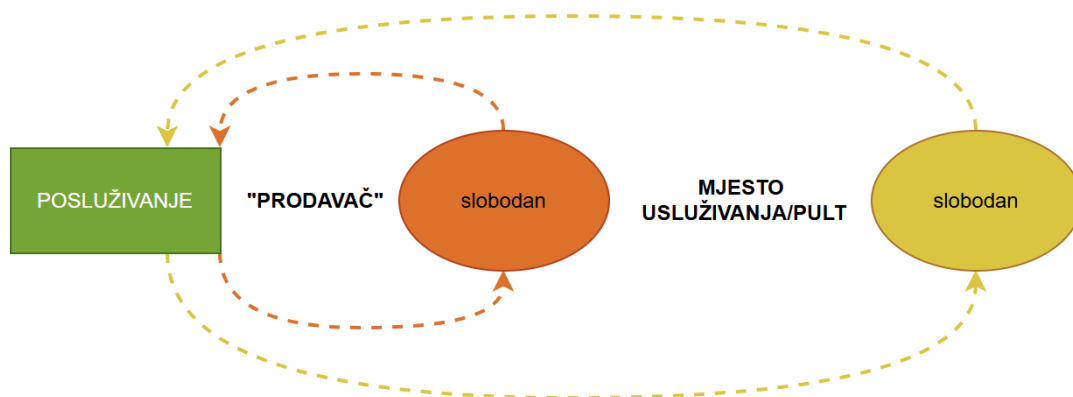
Slika 15. Životni ciklus klase entiteta PRODAVAČ

Životni ciklus klase entiteta „MJESTO USLUŽIVANJA/PULT“, koji se sastoji od aktivnosti „POSLUŽIVANJE“ i reda čekanja „slobodan“, prikazan je u nastavku (Slika 16). Kada je pult u stanju „slobodan“, spreman je za prihvaćanje novog kupca. Aktivnost „POSLUŽIVANJE“ uključuje cijeli proces interakcije s kupcem na pultu, što obuhvaća uzimanje narudžbe i naplatu. Pult ostaje u aktivnosti „POSLUŽIVANJE“ sve dok se narudžba ne obradi u potpunosti, a potom i ne izvrši naplata. Nakon završetka usluživanja, pult se vraća u stanje „slobodan“, čime je spreman za sljedećeg kupca. Ovaj ciklus osigurava neprekidnu i efikasnu obradu kupaca, s jasnim prijelazima između stanja slobodnog pulta i zauzetosti tijekom usluživanja.



Slika 16. Životni ciklus klase entiteta MJESTO USLUŽIVANJA/PULT

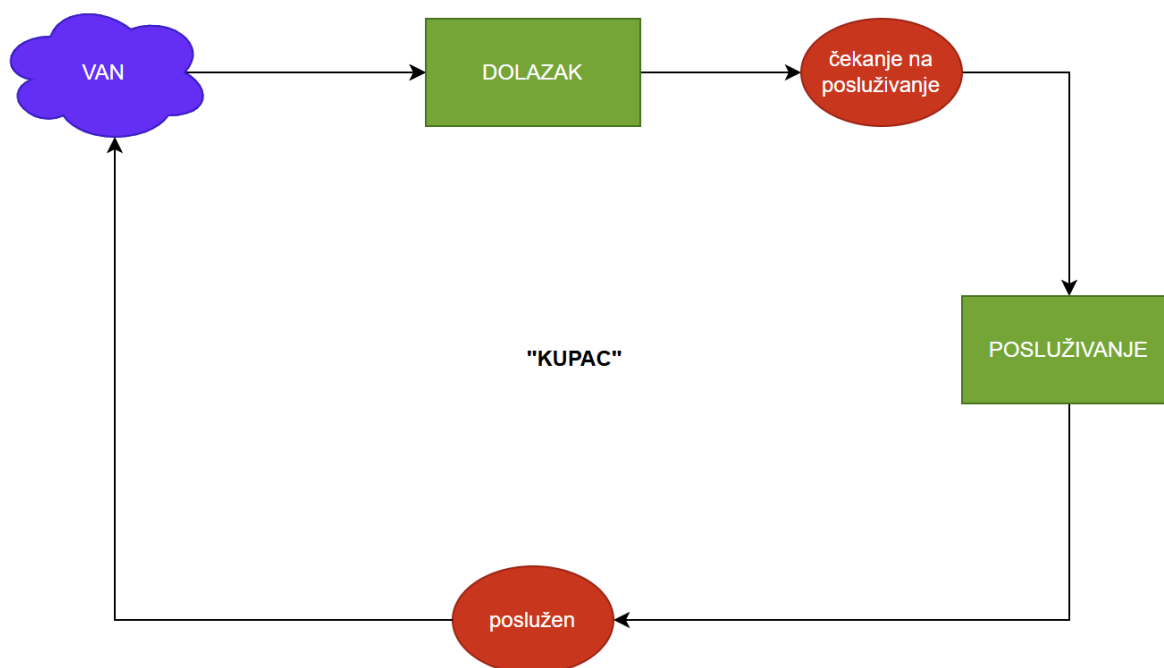
Aktivnost „POSLUŽIVANJE“ povezuje dva ključna entiteta: „PRODAVAČ“ i „MJESTO USLUŽIVANJA/PULT“. Ovaj proces započinje kada su i prodavač i pult u stanju „slobodan“, spremni za prihvaćanje novog kupca. Kupac koji pristupi pultu aktivira prelazak oba entiteta u aktivnost „POSLUŽIVANJE“. Unutar aktivnosti „POSLUŽIVANJE“ prodavač obavlja cjelokupnu uslugu, koja uključuje uzimanje narudžbe i naplatu. Pult služi kao fizičko mjesto interakcije između prodavača i kupca, čime omogućuje nesmetano odvijanje uslužnog procesa. Tijekom ovog procesa prodavač i pult djeluju sinkronizirano – dok prodavač aktivno pruža uslugu, pult osigurava prostor za izvršenje tih radnji. Oba entiteta ostaju u aktivnosti „POSLUŽIVANJE“ dok proces ne završi u potpunosti. Kada prodavač završi cjelokupan proces vezan uz kupca, pult se vraća u stanje „slobodan“, a prodavač također prelazi u svoje stanje „slobodan“. Tek tada su oboje spremni za usluživanje sljedećeg kupca. Ovaj sinkronizirani ciklus osigurava učinkovitost i kontinuitet u procesu usluživanja, minimizirajući vrijeme čekanja i osiguravajući potpunu obradu svakog kupca prije prelaska na sljedećeg. Opisana aktivnost prikazana je u nastavku (Slika 17).



Slika 17. Aktivnost POSLUŽIVANJE

Životni ciklus klase entiteta „KUPAC“ sastoji se od nekoliko stanja (redova čekanja) i aktivnosti. Stanja uključuju: „VAN“, „čekanje na posluživanje“, i „poslužen“, dok su aktivnosti: „DOLAZAK“ i „POSLUŽIVANJE“. Ovaj ciklus je prikazan u nastavku (Slika 18). Ciklus započinje kada kupac ulazi u sustav pekare kroz aktivnost „DOLAZAK“, čime prelazi iz stanja „VAN“ u red čekanja „čekanje na posluživanje“. Kupac ostaje u ovom redu čekanja dok su prodavač i mjesto usluživanja (pult) zauzeti. Kada prodavač i pult postanu slobodni, kupac prelazi u aktivnost „POSLUŽIVANJE“. Tijekom ove aktivnosti, kupac ostvaruje interakciju s prodavačem na pultu, gdje se obavlja naručivanje i naplata kao proces usluživanja. Završetkom aktivnosti „POSLUŽIVANJE“, kupac prelazi u stanje „poslužen“. Nakon što je kupac poslužen, napušta sustav pekare, a njegov ciklus završava prelaskom u stanje „VAN“, čime izlazi iz sustava. Na ovaj način završava njegov životni ciklus, i novi kupac može započeti svoj ciklus tek kada prethodni završi sve aktivnosti, a prodavač i pult se vrte u stanje „slobodan“.

Životni ciklus kupca odvija se u pravilnom redoslijedu, pri čemu je svaki korak sinkroniziran s dostupnošću prodavača i pulta. Novi kupac započinje svoj ciklus tek kada prethodni kupac završi sve aktivnosti i prodavač s pultom se vrte u stanje „slobodan“.



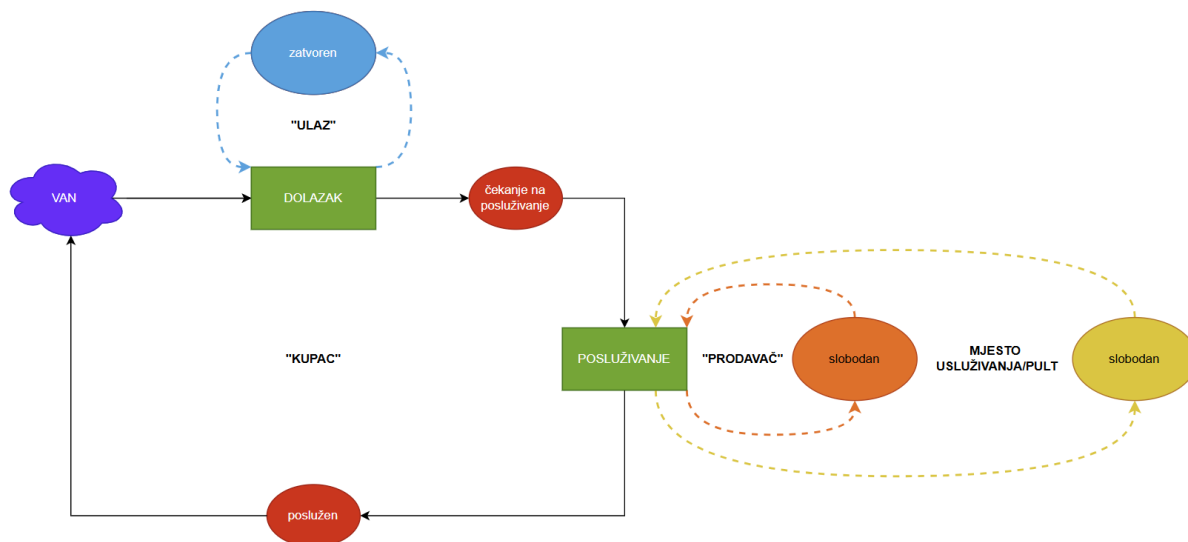
Slika 18. Životni ciklus klase entiteta KUPAC

Sustav započinje kada kupac dolazi u pekaru. Aktivnost „DOLAZAK“ prikazuje ulazak kupca u sustav. U ovom trenutku aktivira se entitet „ULAZ“, koji omogućuje prelazak kupca u sustav iz reda čekanja „VAN“. Ova aktivnost traje sve dok pekara prima kupce. Nakon dolaska, kupci prelaze u red čekanja „čekanje na posluživanje“. Kada kupac čeka u redu čekanja „čekanje na posluživanje“ te prodavač postane slobodan i mjesto posluživanja/pult, kupac prelazi na aktivnost „POSLUŽIVANJE“. U ovom trenutku aktiviraju se dva ključna entiteta: „PRODAVAČ“, koji obavlja uslugu kupcu i „MJESTO USLUŽIVANJA/PULT“, koji omogućuje mjesto pružanja usluge. Aktivnost „POSLUŽIVANJE“ traje dok kupac ne završi u potpunosti s dobivanjem usluge. Nakon završetka, kupac prelazi u red čekanja „poslužen“. Kada kupac uđe u stanje poslužen, prodavač i mjesto usluživanja (pult) odmah postaju slobodni, spremni za sljedećeg kupca. Nakon toga, kupac napušta sustav, vraćajući se u red čekanja „VAN“, čime završava njegov životni ciklus unutar sustava pekare.

Sustav pekare funkcionira tako da kupac prolazi kroz glavne aktivnosti sustava, konkretno „DOLAZAK“ i „POSLUŽIVANJE“ te „VAN“ kao red čekanja. U ključnim trenucima aktiviraju se sljedeći entiteti sustava: entitet „ULAZ“ za početni dolazak kupaca, entitet „PRODAVAČ“ za aktivnost „POSLUŽIVANJE“ i entitet „MJESTO USLUŽIVANJA/PULT“, koji omogućuje mjesto pružanja usluge. Svaka aktivnost ima odgovarajući red čekanja: „čekanje na posluživanje“ označava vrijeme prije aktivnosti „POSLUŽIVANJE“, „poslužen“ odnosi se na

razdoblje nakon aktivnosti „POSLUŽIVANJE“, a prije aktivnosti „VAN“, dok „VAN“ označava trenutak kada kupac odlazi nakon završetka ciklusa.

Ovaj model jasno prikazuje redoslijed aktivnosti i način na koji entiteti surađuju unutar sustava, omogućujući učinkovit rad pekare.



Slika 19. Životni ciklus cjelokupnog sustava pekare

4.1. Vrednovanje konceptualnog modela

Kako bi se osigurala točnost i vjerodostojnost konceptualnog modela pekare, provedeno je vrednovanje samog modela. Konceptualni model pekare vrednovan je pomoću Turingovog testa. Općenito, Turingov test je metodologija koja se koristi za procjenu sposobnosti sustava da simulira ljudsko ponašanje, pri čemu stručnjak ne može prepoznati razliku između stvarnog i simuliranog sustava. Međutim, Turingov test u ovom kontekstu predstavlja provjeru točnosti modela od strane osobe koja je upoznata s radom pekare i može procijeniti odgovara li naš model stvarnim poslovnim procesima.

Model je predstavljen zaposlenici pekare koja je potvrdila da model vjerno odražava način na koji njihov sustav funkcionira. Prema njenim povratnim informacijama, redoslijed aktivnosti i redovi čekanja u modelu odgovaraju stvarnim postupcima u pekari. Na primjer, aktivnost „DOLAZAK“ označava ulazak kupaca u pekaru, nakon čega slijedi red čekanja „čekanje na posluživanje“, gdje kupci čekaju da ih prodavač usluži. Kada prodavač postane slobodan i mjesto usluživanja/pult postane slobodno, kupac prelazi u aktivnost „POSLUŽIVANJE“. Nakon završetka aktivnosti „POSLUŽIVANJE“, kupac ulazi u red čekanja „POSLUŽEN“, i potom napušta pekaru i prelazi u red čekanja VAN, što označava izlazak iz sustava.

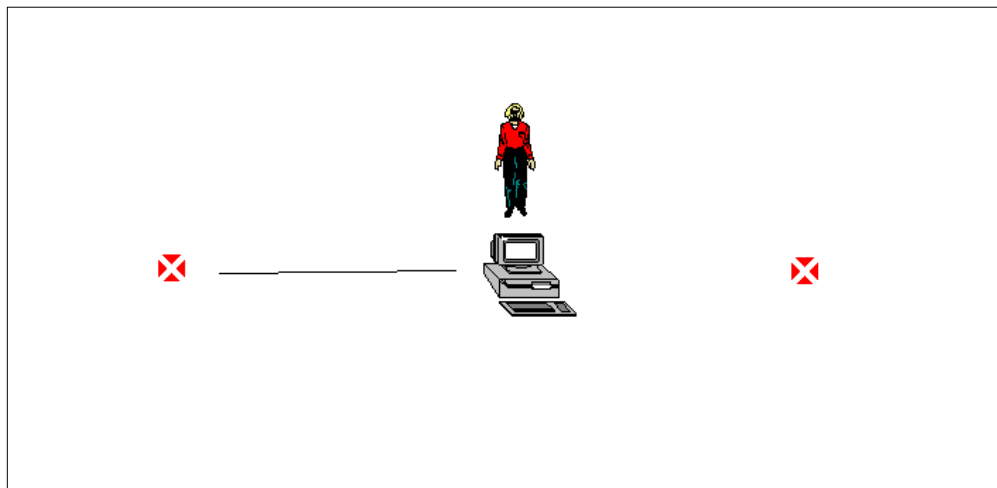
Zaposlenica pekare također je potvrdila informacije o opterećenju zaposlenika unutar smjena, naglašavajući da u pekari radi samo jedan prodavač po smjeni, koji samostalno

obavlja sve aktivnosti. Pekara radi u dvije smjene, a svaki prodavač upravlja svim poslovnim procesima unutar svoje smjene.

Model je ocijenjen kao točan i vjerodostojan jer precizno prikazuje radne procese pekare, uključujući interakcije između kupaca, redova čekanja i aktivnosti prodavača. S obzirom na prethodno navedeno, simulacija modela ne uključuje podjelu rada među više zaposlenika, budući da jedan zaposlenik obavlja sve aktivnosti unutar jedne smjene. Ovaj konceptualni model može poslužiti kao osnova za simulaciju i analizu rada sustava pekare te za identifikaciju mogućnosti za optimizaciju poslovnih procesa.

5. Izrada simulacije originalnog sustava

U ovom dijelu rada prikazana je simulacija trenutnog stanja u pekarni. Nakon toga provedena je obrada i verifikacija dobivenih rezultata. Na slici 20. prikazan je izrađeni simulacijski model.



Slika 20: Model originalnog sustava, simulacijski model pekarnice

Na slici simulacijskog modela vidimo tri lokacije, jedan resurs i red čekanja. Lokacije u modelu su ulaz, kompjuter i izlaz. Resurs je zaposlenik, odnosno zaposlena osoba na radnom mjestu. Dolaskom kupca u pekarnu započinje simulacija. Nakon što kupac uđe, odnosno dolaskom u pekarnu staje u red čekanja koji predstavlja red neograničenog kapaciteta. Na samom "kompjuteru" simulira se obrada kupca, odnosno ukupno vrijeme koje je proteklo od trenutka kada kupac počne s narudžbom do trenutka kada dobije narudžbu, uzimajući u obzir vrijeme usluživanja i vrijeme naručivanja.

Za simulaciju stvarnih dolaznih vremena obrađenih prethodno koristili smo dvije distribucije: vrijeme usluge i vrijeme između dolazaka. Obje distribucije su diskretne i prikazuju stvarna vremena kako za vrijeme usluge tako i za vrijeme između dolazaka. Brzina kretanja kupaca iznosi 50 mpm, a dolaze frekvencijom kontinuirane distribucije Vrijeme između dolazaka. Proveli smo 3 simulacije te svaka simulacija traje po 3 sata. Entiteti i stanja iz konceptualnog modela: kupac, prodavač, čekanje, usluživanje i pult preslikani su u simulacijskom modelu kao grafički elementi: entitet/kupac, prodavač kao radnik, čekanje kao red čekanja odnosno putanja kretanja, usluživanje kao diskretna distribucija vrijeme usluge te pult kao radno mjesto u ovom slučaju kompjuter.

Nakon završene simulacije možemo vidjeti kako je u sustav ušlo 78 kupca, a uspješno ih je obrađeno 74 nakon čega su izašli iz sustava. Dok je 1 kupac u obradi, njih 4 čeka u redu čekanja. Red čekanja je prazan u 15,89% slučajeva, dok u ostalim slučajevima kupci moraju

čekati red. Zaposlenik i kompjuter (radno mjesto) su zauzeti 93,21% vremena. Ukupno prosječno vrijeme koje kupac provede u sustavu je 596,2369 sekundi (9,9372 min), a od toga prosječno vrijeme čekanja iznosi 455,135747 sekunde (7,5855 min), a preostalo vrijeme je Vrijeme usluge. U Prilogu 2, unutar komprimirane datoteke pod nazivom *ModelSimulacije_Belinic_Kajzogaj_Lovasic_Udovcic*, nalaze se sve datoteke povezane s izrađenim modelom simulacije pekarnice.

5.1. Verifikacija rezultata simulacije originalnog sustava

Dobiveni rezultati simulacije verificirani su korištenjem različitih statističkih testova, uključujući test postotnog odstupanja, Hi kvadrat test i Kolmogorov-Smirnov test. Za provjeru točnosti rezultata, provedeni su testovi za dvije varijable: Vrijeme između dolazaka i Vrijeme usluge. Pri izračunu su korišteni podaci iz trace datoteke provedene simulacije. Postupak izračuna navedenih testova dostupan je u Excel datoteci koja se nalazi u prilogu s ovim dokumentom. Na tablicama ispod prikazani su rezultati provedenih testova za svaku od varijabli.

5.1.1. Varijabla Vrijeme između dolazaka

U ovoj analizi razmatra se varijabla Vrijeme između dolazaka. Ova varijabla ključna je za razumijevanje dinamičnosti sustava te za usporedbu stvarnog i simuliranog modela.

U stvarnom sustavu zabilježeno je ukupno 79 dolazaka, dok je simulirani sustav generirao čak 233 dolaska. Što se tiče distribucije vremena između dolazaka, podaci iz stvarnog sustava pokazuju ukupno četiri razreda vrijednosti, konkretno:

- 0-40 sekundi s ukupno 20 dolazaka pri čemu je relativna učestalost 25,31%
- 41-96 sekundi s ukupno 20 dolazaka pri čemu je relativna učestalost 25,32%
- 97-176 sekundi s ukupno 19 dolazaka pri čemu je relativna učestalost 24,05%
- 177-554 sekundi s ukupno 20 dolazaka pri čemu je relativna učestalost 25,32%

U simuliranom sustavu najčešće vrijeme između dolazaka pripada razredu 97-176 sekundi, koji obuhvaća 27,47% dolazaka (64 dolazaka), dok je najrjeđe vrijeme između dolazaka u razredu 0–40 sekundi, s udjelom od 21,46% (50 dolazaka). Prosječno vrijeme između dolazaka u stvarnom sustavu iznosi 130,443038 sekundi, dok u simuliranom sustavu prosječna vrijednost iznosi 135,5708155 sekundi. U nastavku su prikazani provedeni testovi za varijablu Vrijeme između dolazaka.

5.1.1.1. Test postotnog odstupanja

Za procjenu točnosti simuliranih podataka u odnosu na stvarne podatke, proveden je test postotnog odstupanja za varijablu Vrijeme između dolazaka.

Simulirana prosječna vrijednost za vrijeme između dolazaka iznosi 135,5708 sekundi, dok stvarna prosječna vrijednost (prema podacima stvarnog sustava) iznosi 130,4430 sekundi.

Formula za izračun postotnog odstupanja glasi: (simulirana prosječna vrijednost - stvarna prosječna vrijednost) / stvarna prosječna vrijednost \times 100%.

Zamjenom stvarnih vrijednosti u formulu dobivamo: $(135,5708 - 130,4430) / 130,4430 \times 100\% = 3.9310\%$.

Rezultat pokazuje da je postotno odstupanje simuliranih podataka od stvarnih podataka 3.9310%.

Prema pravilima testa postotnog odstupanja, dopuštena granica statističke pogreške iznosi 5%. S obzirom da je postotno odstupanje za ovu varijablu 3.9310%, što je unutar dopuštene pogreške, možemo zaključiti da su simulirani podaci dovoljno pouzdani za donošenje odluka. Predznak nije važan za zaključak o validnosti testa. Ovaj rezultat sugerira da model pruža zadovoljavajuću razinu preciznosti i da se može koristiti u daljnjim analizama bez značajnog rizika od pogrešnih interpretacija.

5.1.1.2. Hi kvadrat test (Chi-squared test)

Za varijablu Vrijeme između dolazaka, proveden je Hi-kvadrat test kako bi se usporedila učestalost vremena između dolazaka u stvarnom sustavu i simuliranim podacima. Tablica 4 u nastavku prikazuje rezultate ovog testa.

Hi kvadrat test						
n	Px(n)	fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	((fo-fe) ² /fe)
0	0.2531	50	58.9723	-8.9723	80.5022	1.365084409
1	0.2532	59	58.9956	0.0044	0.0000	0.000000328
2	0.2405	64	56.0365	7.9635	63.4173	1.131714726
3	0.2532	60	58.9956	1.0044	1.0088	0.017099908
Σ	1	233	233	0		2.513899372

Tablica 4: Hi kvadrat test (Chi-squared test) za varijablu Vrijeme između dolazaka (samostalna izrada)

Za varijablu Vrijeme između dolazaka, izračunata vrijednost Hi-kvadrat statistike (X_{sim} tj. X^2) iznosi 2,5139. Ova vrijednost dobivena je korištenjem Hi-kvadrat formule, koja se računa kao zbroj kvadrata razlike između stvarne frekvencije (f_o) i očekivane frekvencije (f_e), podijeljene s očekivanom frekvencijom. Stvarna frekvencija (f_o) predstavlja broj dolazaka u simulaciji, dok očekivana frekvencija (f_e) predstavlja broj dolazaka koji bi se očekivao prema raspodjeli stvarnih podataka, pomnožene s ukupnim brojem dolazaka u simulaciji. Na temelju ove formule, izračunata vrijednost X_{sim} od 2,5139 koristi stvarne podatke simulacije i njihove

očekivane raspodjele prema stvarnim sustavima. Za izračun stupnja slobode, koristi se formula: $df = n - 1$, gdje je n broj intervala u analizi. U ovom slučaju, s 4 intervala za raspodjelu vremena između dolazaka, stupanj slobode iznosi 3.

Tablična vrijednost Hi-kvadrat statistike (X_{tab}) za razinu signifikantnosti od 0,05 i 3 stupnja slobode iznosi 7,81473. Budući da je izračunata vrijednost X_{sim} (2,5139) manja od tablične vrijednosti X_{tab} (7,81473), prihvaćamo hipotezu H_0 . Navedeno znači da ne postoji statistički značajna razlika između stvarnog i simuliranog sustava. S 95%-tnom vjerojatnošću možemo zaključiti da raspodjela vremena između dolazaka u simulaciji odgovara raspodjeli vremena između dolazaka u stvarnom sustavu.

5.1.1.3. Kolmogorov-Smirnov test

Za varijablu Vrijeme između dolazaka proveden je Kolmogorov-Smirnov (KS) test kako bi se usporedili rezultati stvarnog sustava i simulacije. Tablica 5 u nastavku prikazuje rezultate provedenog Kolmogorov-Smirnov testa.

Kolmogorov - Smirnov test					
n	K1	K2	K1-K2		
0	0.2531	0.2146	0.0385		
1	0.5063	0.4678	0.0385	D _{MAX}	0.0385
2	0.7468	0.7425	0.0043	D _{TAB}	0.089097
3	1	1	0.00	prihvaća se H_0	

Tablica 5: Kolmogorov-Smirnov test za varijablu Vrijeme između dolazaka (samostalna izrada)

Dobivena vrijednost D_{max} za simulirani sustav iznosi 0,0385, što predstavlja najveću apsolutnu razliku između kumulativnih distribucijskih funkcija stvarnog sustava i simuliranog sustava.

Za izračun D_{tab} , tablične kritične vrijednosti, koristi se formula: $D_{tab} = 1,36$ podijeljeno s korijenom broja redova u simulaciji, gdje je broj redova simulacije 233. Dakle, tablična vrijednost D_{tab} iznosi približno 0,0891.

Kako je D_{max} (0,0385) manji od D_{tab} (0,0891), prihvaća se nulta hipoteza (H_0), koja sugerira da su distribucije vremena između dolazaka u stvarnom sustavu i simuliranom sustavu statistički jednake na razini značajnosti od 5%.

Zaključak koji proizlazi iz ovih rezultata jest da ne postoji značajna razlika između stvarnog sustava i simulacije u pogledu raspodjele vremena između dolazaka. Stoga možemo s 95%-tnom vjerojatnošću tvrditi da su rezultati simulacije konzistentni sa stvarnim podacima za varijablu Vrijeme između dolazaka.

5.1.2. Varijabla Vrijeme usluge

U ovoj analizi razmatra se varijabla Vrijeme usluge. Kao što smo već prije spomenuli Vrijeme usluge predstavlja nam ukupno vrijeme koje je proteklo od trenutka kada kupac počne s narudžbom do trenutka kada dobije narudžbu, uzimajući u obzir vrijeme usluživanja i vrijeme naručivanja.

U stvarnom sustavu zabilježena su 74 vremena usluge dok nam je simulirani sustav generirao 227 vremena usluge. Distribuciju Vrijeme usluge imamo prikazanu u tablicama s 4 razreda vrijednosti.

- Prvi razred obuhvaća raspon od 58 do 107 sekundi. U ovom rasponu zabilježeno je 58 dolazaka (25,55%) u simuliranom sustavu, dok je u stvarnom sustavu zabilježeno 19 dolazaka (25,68%).
- Drugi razred obuhvaća raspon od 108 do 127 sekundi. U ovom rasponu zabilježen je 51 dolazak (22,47%) u simuliranom sustavu, što predstavlja najmanji broj dolazaka u simuliranom modelu, dok je u stvarnom sustavu zabilježeno 18 dolazaka (24,32%).
- Treći razred obuhvaća raspon od 128 do 160 sekundi. U ovom rasponu zabilježeno je 65 dolazaka (28,63%) u simuliranom sustavu, što predstavlja najveći broj dolazaka u simuliranom modelu, dok je u stvarnom sustavu zabilježeno 18 dolazaka (24,32%).
- Četvrti razred obuhvaća raspon od 161 do 229 sekundi. U ovom rasponu zabilježeno je 53 dolazaka (23,35%) u simuliranom sustavu, dok je u stvarnom sustavu zabilježeno 19 dolazaka (25,68%).

Simulirani sustav ima veću koncentraciju dolazaka u trećem razredu (srednja vremena usluge), dok su kraća vremena usluge ravnomjernije raspoređena u stvarnom sustavu.

Prosječno vrijeme usluge u stvarnom sustavu iznosi 134,6081 sekundi, dok u simuliranom sustavu prosječno vrijeme usluge iznosi 134,0000 sekundi. U nastavku su prikazani provedeni testovi za varijablu Vrijeme usluge.

5.1.2.1. Test postotnog odstupanja

Za procjenu točnosti simuliranih podataka u odnosu na stvarne podatke, proveden je test postotnog odstupanja za varijablu vrijeme usluge.

Prosječno simulirano vrijeme usluge iznosi 134,0000 sekundi, dok prosječno stvarno vrijeme trajanja usluge iznosi 134,6081 sekundi.

Formula za izračun postotnog odstupanja glasi: $(\text{simulirana prosječna vrijednost} - \text{stvarna prosječna vrijednost}) / \text{stvarna prosječna vrijednost} \times 100\%$.

Zamjenom stvarnih vrijednosti u formulu dobivamo: $(134,0000 - 134,6081) / 134,6081 \times 100\% = -0.4538\%$. Rezultat pokazuje da je postotno odstupanje simuliranih podataka od stvarnih podataka -0.4538% .

Prema pravilima testa postotnog odstupanja, dopuštena granica statističke pogreške iznosi 5%. Obzirom kako nama postotno odstupanje za varijablu Vrijeme usluge iznosi -0.4538% , možemo zaključiti da su simulirani podaci pouzdani za donošenje odluke. Budući da je odstupanje unutar dopuštene granice, model adekvatno odražava stvarni sustav.

5.1.2.2. Hi kvadrat test (Chi-squared test)

Za varijablu Vrijeme usluge, proveden je Hi-kvadrat test kako bi se usporedila učestalost vremena usluge u stvarnom sustavu i simuliranim podacima. Tablica 6 u nastavku prikazuje rezultate ovog testa.

Hi kvadrat test						
n	Px(n)	fo	fe	fo-fe	(fo-fe) ²	((fo-fe) ²)/fe
0	0.2568	58	58.2936	-0.2936	0.0862	0.001478738
1	0.2432	51	55.2064	-4.2064	17.6938	0.320502713
2	0.2432	65	55.2064	9.7936	95.9146	1.737381915
3	0.2568	53	58.2936	-5.2936	28.0222	0.480708019
Σ	1	227	227	0		2.540071385

Tablica 6. Hi kvadrat test (Chi-squared test) za varijablu Vrijeme usluge (samostalna izrada)

U Hi-kvadrat testu analizirane su četiri razreda učestalosti za varijablu Vrijeme usluge, pri čemu su uspoređene frekvencije iz stvarnih podataka (fo) i frekvencije koje su očekivane prema simuliranom modelu (fe).

- U prvom razredu ($n = 0$), gdje je vjerojatnost $Px(n) = 0,2568$, zabilježeno je 58 dolazaka, što je za 0,2936 manje od očekivane vrijednosti $fe = 58,2936$. Ponderirani kvadratni odstup za ovaj razred iznosi 0,0015, što je najniža vrijednost među svim razredima.
- U drugom razredu ($n = 1$), gdje je vjerojatnost $Px(n) = 0,2311$, zabilježen je 51 dolazak, što je za 4,2064 manje od očekivane vrijednosti $fe = 55,2064$. Ponderirani kvadratni odstup za ovaj razred iznosi 0,3205.
- U trećem razredu ($n = 2$), gdje je vjerojatnost $Px(n) = 0,2856$, zabilježeno je 65 dolazaka, što je za 9,7936 više od očekivane vrijednosti $fe = 55,2064$. Ponderirani kvadratni odstup za ovaj razred iznosi 1,7374, što je najveća vrijednost među svim razredima.
- U četvrtom razredu ($n = 3$), gdje je vjerojatnost $Px(n) = 0,2265$, zabilježeno je 53 dolazaka, što je za 5,2936 manje od očekivane vrijednosti $fe = 58,2936$. Ponderirani kvadratni odstup za ovaj razred iznosi 0,4807.

Budući da je izračunata vrijednost X_{sim} (2,5401) manja od tablične vrijednosti X_{tab} (7,8147), prihvaća se hipoteza H_0 . Navedeno znači da ne postoji statistički značajna razlika između stvarnog i simuliranog sustava. S 95%-tnom vjerojatnošću možemo zaključiti da raspodjela vremena usluge u simulaciji odgovara raspodjeli vremena usluge u stvarnom sustavu.

5.1.2.3. Kolmogorov-Smirnov test

Za varijablu Vrijeme usluge proveden je Kolmogorov-Smirnov test kako bi se usporedili rezultati stvarnog sustava i simulacije. Tablica 7 prikazuje rezultate provedenog testa.

Kolmogorov - Smirnov test					
n	K1	K2	K1-K2		
0	0.2568	0.2555	0.0013		
1	0.5000	0.4802	0.0198	D _{MAX}	0.0233
2	0.7432	0.7665	0.0233	D _{TAB}	0.090266
3	1	1	0.00	prihvaća se H_0	

Tablica 7. Kolmogorov-Smirnov test za varijablu Vrijeme usluge (samostalna izrada)

Dobivena vrijednost D_{max} za simulirani sustav iznosi 0,0233, što predstavlja najveću apsolutnu razliku između kumulativnih distribucijskih funkcija stvarnog sustava i simuliranog sustava.

Za izračun D_{tab} , tablične kritične vrijednosti, koristi se formula: $D_{tab} = 1,36$ podijeljeno s korijenom broja redova u simulaciji, gdje je broj redova simulacije 227. Dakle, tablična vrijednost D_{tab} iznosi približno 0,0903.

Kako je D_{max} (0,0233) manji od D_{tab} (0,0903), prihvaća se nulta hipoteza (H_0), koja sugerira da su distribucije vremena usluge u stvarnom sustavu i simuliranom sustavu statistički jednake na razini značajnosti od 5%.

Iz ovih rezultata može se zaključiti da nema značajne razlike između stvarnog sustava i simulacije u pogledu raspodjele vremena usluge. Stoga se s 95%-tnom sigurnošću može tvrditi da su rezultati simulacije u skladu sa stvarnim podacima za varijablu Vrijeme usluge.

6. Plan simulacijskog eksperimenta

Za izradu alternativa koristit ćemo alat ServiceModel. U istom alatu kreirana je i simulacija originalnog sustava. To nam omogućava usporedbu i analizu podataka dobivenih simulacijom stvarnog sustava i simulacijom alterenativa.

Poslovni cilj projekta je smanjenje vremena čekanja u pekari tijekom udarnih vremenskih intervala, odnosno za vrijeme velikog odmora, nakon nedjeljne mise i ujutro kad ljudi kupuju gablec na način da prosječno vrijeme provedeno u redu ne bude veće od 1 minute. Kako bismo ostvarili taj cilj napravljene su dvije alternative. Alternative uključuju zapošljavanje još jednog radnika/radnice te uvođenje automata sa sendvičima. Alternative su detaljnije prikazane i objašnjene u sljedećem poglavlju.

Kao dio plana simulacijskog eksperimenta definirali smo varijable koje ćemo koristiti za analizu rezultata alternativa sa simulacijom stvarnog sustava. Varijable su navedene u nastavku:

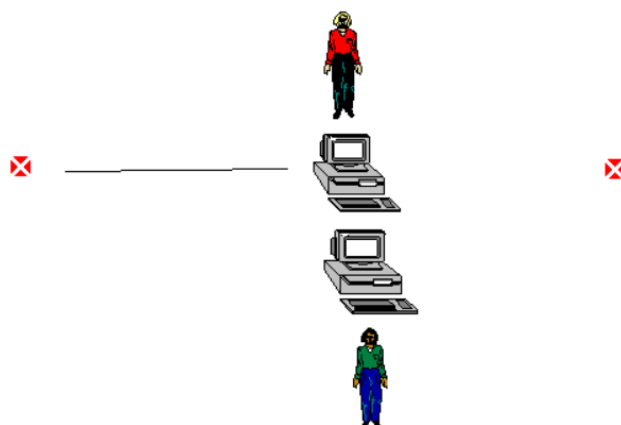
- Vrijeme čekanja u redu (*eng. Avarage Seconds Per Entry*) – vrijeme koje kupac provede u redu. U našem slučaju poslovni cilj definira da je to manje od jedne minute.
- Maksimalan red za čekanje (*eng. Maximum Contents*) – maksimalan broj klijenata u redu u nekom trenutku. Poželjno je da je taj broj što manji.
- Postotna djelomična zauzetost reda za čekanje (*eng. %Partially Occupied*) – postotak djelomične zauzetosti reda za čekanje. Prikazuje kojom dinamikom se stvara red za čekanje te je li to u određenim trenucima ili se događa konstantno.
- Vrijeme provedeno u radnji (*eng. Average Seconds in Operation*) – predstavlja vrijeme usluge. U našem slučaju to je ukupno vrijeme koje je proteklo od trenutka kada kupac počne s narudžbom do trenutka kada dobije narudžbu.
- Vrijeme u blokadi (*eng. Average Seconds Blocked*) – vrijeme čekanja. Varijabla koja pokazuje koliko dugo kupac čeka u redu odnosno vrijeme dok ne obavlja nikakve operacije.
- Ukupno vrijeme provedeno u sustavu (*eng. Average Seconds in System*) – ukupno vrijeme koje je klijent proveo u sustavu, dakle, od trenutka ulaska u red do izlaska iz pekare.

7. Izrada alternativnih modela

Ovo poglavlje prikazuje vizualizacije alternativa napravljene u alatu ServiceModel te njihova objašnjenja. Uz to prikazane su i uspoređene varijable koje su u prethodnom poglavlju navedene.

7.1. Alternativa 1

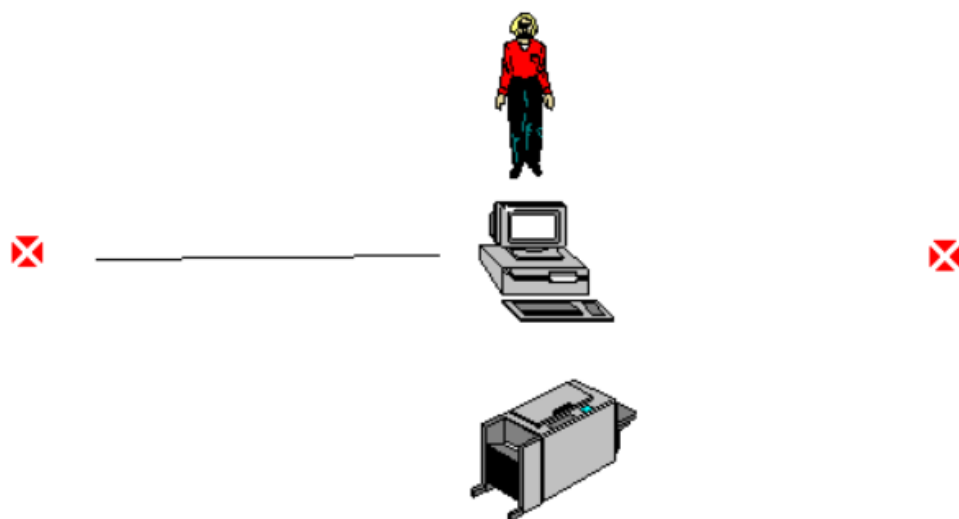
Prva alternativa prikazana je na donjoj slici. Ova alternativa na originalni sustav dodaje još jednog radnika te blagajnu na kojoj taj radnik naplaćuje uslugu. Ova alternativa uključuje jedan red čekanja iz kojeg klijenti odlaze kod radnika koji je prvi slobodan, a ukoliko je prvi radnik zauzet klijenti odlaze na alternativno mjesto usluživanja odnosno kod novozaposlenog radnika. Vrijeme između dolazaka i Vrijeme usluge je definirano kao i kod simulacije originalnog sustava te su oba radnika zauzeta prema podcima iz tablice Vrijeme usluge za stvarni sustav.



Slika 21. Model alternative 1 (samostalna izrada)

7.2. Alternativa 2

Na donjoj slici prikazan je model alternative 2. Ova alternativa uvodi automat na koji odlazi 40% klijenata iz reda, a ostalih 60% uslužuje radnik za pultom. Kao i u prethodnoj alternativni imamo jedan red čekanja. Zauzetost automata definirana je prema Weibullovoj razdiobi koja glasi $W(1.0,20)$ što znači da je vrijeme usluge na automatu cca 20 sekundi., a radnik je zauzet prema podacima iz tablice Vrijeme usluge (podaci iz tablice koja prikazuje originalni sustav).



Slika 22. Model alternative 2 (samostalna izrada)

8. Analiza i usporedba rezultata

U nastavku su prikazani rezultati simulacije dviju alternativa te rezultati simulacije stvarnog sustava. Alternative nastoje smanjiti vrijeme čekanja u redu, a poslovnim ciljem je definirano da to vrijeme ne smije biti veće od 1 minute. Budući da su 3 replikacije za svaku alternativu su prikazani prosječni podaci dobiveni od te tri replikacije.

Naziv	Average Seconds Per Entry	Maximum Contents	% Partially Occupied
Stvarni sustav	451.684297	8	84.11
Alternativa 1	26.492008	2.66667	15.96
Alternativa 2	50.619570	3.33333	28.19

Tablica 8. Usporedba rezultata po lokaciji ulaznog reda

Tablica 8 prikazuje usporedbu stvarnog sustava i alternativa s obzirom na vrijeme čekanja koje je provedeno na lokaciji ulaznog reda. Prosječno vrijeme čekanja u stvarnom sustavu iznosi prosječno 451.684297 sekundi odnosno 7 minuta i 53 sekunda, to vrijeme u alternativama je znatno manje te iznosi prosječno 26.5 sekundi i 50.62 sekunde, dakle manje od jedne minute. Varijabla maksimalan red za čekanje prikazuje koliko je kupaca u redu. Prema tablici vidimo da se i taj broj smanjuje pa tako u stvarno sustavu imamo 8 kupaca u redu, a u alternativu 1 imamo prosječno 2.66667, a u alternativu 2 imamo prosječno 3.33333. U tablici je vidljivo da se smanjuje i djelomično zauzeće reda za čekanje pa je u alternativu 1 zauzet 15.96%, a u alternativu 2 zauzet je 25.19%.

Naziv	Failed Arrivals	Average Seconds in Operation	Average Seconds Blocked	Average Seconds in System
Stvarni sustav	0	141.101207	455.135747	596.236953
Alternativa 1	0	144.207202	19.375314	163.582516
Alternativa 2	0	96.665375	43.435516	140.100892

Tablica 9. Usporedba karakteristika stvarnog sustava i alternativa

Gornja tablica prikazuje usporedbu varijabli stvarnog sustava te varijabli alternativa. Prva varijabla je broj klijenata koji nisu usluženi. Prema podacima iz tablice vidimo da je vrijednost 0 za stvarni sustav i alternative pa taj podatak možemo eliminirati. Sljedeća varijabla je vrijeme provedeno u radnji te vidimo da je za alternativu 1 to vrijeme veće nego u stvarnom sustavu, a za alternativu 2 je manje. Prosječno stanje entiteta u stanju blokirano je znatno manje u obje alternative te predstavlja vrijeme provedeno u redu čekanja koje je manje od minute i pol za

obje alternative. Prosječno vrijeme u sustavu podrazumijeva vrijeme od ulaska do izlaska klijenta te vidimo da je to vrijeme kod alternativa znatno manje nego kod stvarnog sustava.

9. Zaključak

U okviru projekta provedeno je simulacijsko modeliranje redova čekanja u pekarnici „Stubičke Toplice“ kako bi se optimizirali poslovni procesi, smanjilo vrijeme čekanja i povećala učinkovitost usluge. Pekarnica privlači veliki broj kupaca zbog svoje lokacije, produženog radnog vremena i kvalitetne ponude, što uzrokuje gužve u udarnim terminima. Simulacijski model analizirao je trenutni sustav, identificirao ključne probleme i predložio rješenja, uključujući alternativne modele poboljšanja poslovanja. Pekarnica posluje sedam dana u tjednu s različitim radnim vremenom, a trenutni sustav organiziran je u dvije smjene s jednim prodavačem po smjeni. Glavni problem su duga čekanja tijekom udarnih termina uzrokovana velikom potražnjom i složenim narudžbama. Cilj je bio smanjiti prosječno vrijeme čekanja kupaca s 7 minuta i 47 sekundi na 1 minutu i 30 sekundi uz zadržavanje kvalitete usluge. Podaci su prikupljeni promatranjem tijekom tri dana, a statističkom obradom u Excelu uklonjena su odstupanja i osigurani precizni podaci za simulaciju. Analizirane su tri ključne varijable: vrijeme usluge, vrijeme između dolazaka i vrijeme čekanja. Validacija modela provedena je Turingovim testom, a model je pokazao da sustav s jednim prodavačem uzrokuje najveće zastoje, što opravdava potrebu za dodatnim resursima. Model je korišten kao temelj za simulaciju i analizu poboljšanja sustava.

Simulacija originalnog sustava pekare obuhvatila je tri ključne lokacije (ulaz, kompjuter, izlaz), jedan resurs (zaposlenik) i red čekanja, koristeći diskretne distribucije za vrijeme između dolazaka i vrijeme usluge. Simulacija je trajala tri sata s tri ponavljanja, a rezultati su pokazali da je 78 kupaca ušlo u sustav, a 74 su obrađena. Zaposlenik i kompjuter bili su zauzeti 93,21% vremena, prosječno vrijeme koje kupac provede u sustavu je 9,94 minuta, dok je prosječno vrijeme čekanja bilo 7,59 minuta. Statistički testovi (postotno odstupanje, Hi kvadrat i Kolmogorov-Smirnov test) potvrdili su točnost simulacije, s razlikama za vrijeme između dolazaka od 3,93% i za vrijeme usluge od -0,4538%, obje unutar dopuštene pogreške. Testovi su pokazali da su distribucije vremena u stvarnom i simuliranom sustavu statistički jednake, što potvrđuje preciznost simulacije i njezinu valjanost za daljnju analizu i optimizaciju.

Plan koristi alat ServiceModel za simulaciju originalnog sustava i alternativnih rješenja s ciljem smanjenja vremena čekanja u pekari na ispod jedne minute. Definirane varijable uključuju vrijeme čekanja u redu, maksimalni red, postotnu zauzetost reda, vrijeme provedeno u radnji, vrijeme u blokadi i ukupno vrijeme u sustavu.

U prvoj alternativni dodan je dodatni radnik i blagajna kako bi se smanjilo vrijeme čekanja. Klijenti se upućuju na slobodnog radnika, a ako je prvi radnik zauzet, prelaze na novozaposlenog. Vrijeme između dolazaka i vrijeme usluge postavljeni su prema parametrima iz simulacije originalnog sustava. Usporedba pokazuje da je prosječno vrijeme čekanja

smanjeno sa 7 minuta i 53 sekunde na 26,5 sekundi, broj klijenata u redu smanjen je s 8 na 3, a zauzetost reda smanjen je na 15,96%.

Drugi model uvodi automat kojem se upućuje 40% klijenata, dok preostalih 60% uslužuje radnik. Automat koristi Weibullovu razdiobu $W(1.0, 20)$, a zauzetost radnika temelji se na podacima iz originalne simulacije. Prosječno vrijeme čekanja smanjeno je na 50,62 sekunde, broj klijenata u redu smanjen je na 4, a zauzetost reda smanjeno je na 28,19%.

Obje alternative značajno poboljšavaju sustav u odnosu na trenutnu situaciju, ali alternativa 1 pokazuje veću učinkovitost u smanjenju vremena čekanja (26,5 sekundi naspram 50,62 sekunde), broja klijenata u redu (3 naspram 4) i zauzetosti reda (15,96% naspram 28,19%), što je ključno za poboljšanje ukupne učinkovitosti sustava.

Zaključno, automat za proizvode, kao alternativa 2, ima ograničenu učinkovitost jer rješava samo jednostavne narudžbe i time ne može u potpunosti riješiti problem vremena čekanja. Prema dobivenim rezultatima, uvođenje dodatnog radnika, kao alternativa 1, treba biti prioritet, dok automat može dodatno optimizirati sustav, osobito u situacijama s jednostavnim narudžbama. Iako su obje predložene alternative vrijedne razmatranja, uvođenje automata za sendviče i dodatnog zaposlenika predstavljalo bi znatno financijsko opterećenje za pekaru, zbog čega nijedna od tih opcija do sada nije implementirana. U tom kontekstu, alternativa 1 – zapošljavanje dodatnog radnika na određeno vrijeme u udarnim terminima – čini se kao racionalno rješenje. Ova alternativa omogućuje ciljano rješavanje problema najvećih gužvi bez potrebe za značajnim početnim ulaganjima i dugoročnim obvezama. S druge strane, alternativa 2 – uvođenje automata za sendviče – ima određene praktične nedostatke. Naime, automat bi zahtijevao redovito punjenje, što implicira dodatne radne zadatke za osoblje ili angažiranje dodatnih resursa. Time postoji potencijalni rizik da automat ostane nenapunjen u ključnim trenucima, čime bi se njegovi benefiti znatno umanjili. Nadalje, automat ne može osigurati personalizaciju usluge niti odgovoriti na kompleksne zahtjeve kupaca, što dodatno ograničava njegovu korisnost u svakodnevnom poslovanju pekarnice. Stoga, dok alternativa 2 može djelovati kao dopunsko rješenje za specifične situacije, alternativa 1 ostaje primarni fokus zbog svoje učinkovitosti i prilagodljivosti operativnim potrebama pekarnice.

Popis slika

Slika 1. Pekarnica Stubičke Toplice	2
Slika 2. Vrijeme usluge – Graf distribucije (Samostalna izrada)	8
Slika 3. Vrijeme usluge - KS test -Johnson SB (samostalna izrada)	8
Slika 4. Vrijeme usluge – KS test - Pearson 5 (samostalna izrada).....	9
Slika 5. Vrijeme usluge - KS test - Log-Gamma (samostalna izrada).....	9
Slika 6. Vrijeme između dolazaka – Graf distribucije (samostalna izrada)	10
Slika 7. Vrijeme između dolazaka - KS test - Gamma (samostalna izrada)	10
Slika 8. Vrijeme između dolazaka - KS test - Johnson SB (samostalna izrada).....	11
Slika 9. Vrijeme između dolazaka - KS test - Gen. Pareto (samostalna izrada).....	11
Slika 10. Vrijeme čekanja – Graf distribucije (samostalna izrada)	12
Slika 11. Vrijeme čekanja - KS test - Gen. Extreme Value (samostalna izrada)	12
Slika 12. Vrijeme čekanja - KS test – Frechet (3P) (samostalna izrada)	13
Slika 13. Vrijeme čekanja - KS test – Log-Logistic (samostalna izrada).....	13
Slika 14. Životni ciklus klase entiteta ULAZ	16
Slika 15. Životni ciklus klase entiteta PRODAVAČ	17
Slika 16. Životni ciklus klase entiteta MJESTO USLUŽIVANJA/PULT	17
Slika 17. Aktivnost POSLUŽIVANJE.....	18
Slika 18. Životni ciklus klase entiteta KUPAC.....	19
Slika 19. Životni ciklus cjelokupnog sustava pekare	20
Slika 20: Model originalnog sustava, simulacijski model pekarnice.....	22
Slika 21. Model alternative 1 (samostalna izrada).....	30
Slika 22. Model alternative 2 (samostalna izrada).....	31

Popis tablica

Tablica 1. Tablica s ulaznim podacima za vrijeme usluge (samostalna izrada)	14
Tablica 2. Tablica s ulaznim podacima za vrijeme čekanja (samostalna izrada)	14
Tablica 3. Tablica s ulaznim podacima za vrijeme između dolazaka (samostalna izrada)	15
Tablica 4: Hi kvadrat test (Chi-squared test) za varijablu Vrijeme između dolazaka (samostalna izrada).....	24
Tablica 5: Kolmogorov-Smirnov test za varijablu Vrijeme između dolazaka (samostalna izrada)	25
Tablica 6. Hi kvadrat test (Chi-squared test) za varijablu Vrijeme usluge (samostalna izrada)	27
Tablica 7. Kolmogorov-Smirnov test za varijablu Vrijeme usluge (samostalna izrada)	28
Tablica 8. Usporedba rezultata po lokaciji ulaznog reda	32
Tablica 9. Usporedba karakteristika stvarnog sustava i alternativa	32

Prilozi (1, 2, ...)

1. MIS_Belinic_Kajzogaj_Lovasic_Udovcic.xlsx – Excel dokument
2. ModelSimulacije_Belinic_Kajzogaj_Lovasic_Udovcic – Komprimirana datoteka ZIP