

# Razvoj i prikaz funkcionalnosti programske aplikacije za rješavanje problema predviđanja ponašanja potrošača

*Nikolina Žajdela Hrustek*

Fakultet organizacije i informatike Sveučilišta u Zagrebu

*Damira Keček*

Sveučilište Sjever

*Antonio Gazdek*

## Sažetak

Markovljevi lanci imaju široku primjenu u predviđanju kretanja raznih pojava. Cilj ovog rada je prikazati razvoj i funkcionalnost programske aplikacije za rješavanje problema predviđanja ponašanja potrošača primjenom metode Markovljevih lanaca. Programska aplikacija je prvenstveno namijenjena za predviđanje korištenja elektroničkih usluga i prognoziranje broja korisnika. Rad programske aplikacije testiran je na primjeru organizacije čija je djelatnost pružanje elektroničkih i financijskih usluga. Važnost predviđanja korištenja usluga i prognoziranje broja korisnika ogleda se u procjeni kapaciteta servera na kojima se nalaze usluge organizacije. Programska aplikacija sadrži korisničke upute za jednostavnije korištenje i interpretaciju dobivenih rezultata.

**Ključne riječi:** Markovljev lanac, programska aplikacija, predviđanje ponašanja potrošača

**Primljeno:** 23.2.2022.

**Prihvaćeno:** 16.3.2022.

**DOI:** 10.2478/crdj-2022-0005

## Uvod

U današnje vrijeme za svaku je organizaciju od iznimne važnosti donošenje kvalitetnih i pravovremenih odluka. Za postizanje što boljih poslovnih odluka primjenjuju se metode za predviđanje kretanja ekonomskih pojava u budućnosti. Metoda Markovljevih lanaca najčešće je korištena metoda za predviđanje budućeg stanja varijable od interesa na temelju njenog trenutnog stanja.

Na temelju metode Markovljevih lanaca može se predvidjeti korištenje usluga i prognoziranje broja korisnika iz realnog sustava. U ovom je radu prikazan razvoj i funkcionalnost programske aplikacije za rješavanje problema predviđanja korištenja elektroničkih usluga i prognoziranja broja korisnika tih usluga korištenjem metode Markovljevih lanaca. Predviđanje ponašanja potrošača prikazano je na primjeru jedne ICT organizacije koje se, između ostalog, bavi i razvojem web aplikacija. Važnost predviđanja korištenja usluga i prognoziranja broja korisnika ogleđa se u procjeni kapaciteta servera na kojima se nalazi web aplikacija.

Kako je naglasak ovog rada na predviđanju korištenja usluga i prognoziranju broja korisnika tih usluga, u nastavku je dan pregled relevantnih istraživanja slične problematike. Tako su Zhang et al. (2013) uz pomoć modela Markovljevog lanca predložili metodu za predviđanje protoka pacijenata u odjelima hitne pomoći. Naime, gužva u odjelima hitne pomoći ozbiljno utječe na kvalitetu hitne medicinske pomoći i pristup zdravstvenoj skrbi. Stoga je predviđanje protoka pacijenata u odjelu hitne pomoći značajno u pružanju ranog upozorenja o gužvi za interesni odjel ili osoblje te praćenju i kontroli stanja gužve. Na temelju povijesnih podataka o dolasku pacijenata u ambulantnu jedinicu za njegu analiziranih na temelju Markovljevog lanca, Nazir et al. (2016) razvili su model predviđanja dolazaka pacijenata za tjedan dana na sljedeći pregled. Problem prenatrpanosti bolničkih odjela analizirali su i Andersen et al. (2017). Autori su predstavili model rješavanja problema osiguravanja dovoljnog broja kreveta na bolničkim odjelima preraspodjelom kreveta koji su dostupni u bolnici.

Odljev kupaca događa se kada kupci prekinu korištenje usluga poduzeća što predstavlja gubitak stalnih prihoda za to poduzeće i glavni je financijski problem koji muči mnoge industrije, posebice bankarstvo i telekomunikacije. Odljev kupaca koristi se kao jedna od ključnih mjera uspješnosti poduzeća, koja se analizira kako bi se kvantificirao promet kupaca za poduzimanje korektivnih radnji. Za predviđanje osipanja kupaca, Dzieciolowski (2015) primjenjuje Markovljev lanac. Cilj poduzeća je osigurati životnu vrijednost kupaca, tj. odrediti buduće profitabilne kupce i optimizirati marketinške resurse. Kako bi predvidjeli životnu vrijednost kupaca, Ben Mzoughia et al. (2015) su predložili modificirani model koji analizira slučajeve i negativnih i pozitivnih dobiti na temelju modela Markovljevog lanca. Shieh et al. (2009) su primijenili model Markovljevog lanca za analizu zahtjeva kupaca s gledišta vjerojatnosti. Početne i prijelazne vjerojatnosti mogu se izračunati na temelju anketa kupaca o njihovim prošlim i sadašnjim izborima. Svaki zahtjev kupca može se analizirati kako vrijeme prolazi, a promjene za svaku tehničku mjeru mogu se pomno ispitati s vremena na vrijeme. Provođenjem anketa novih kupaca, zahtjevi kupaca i

tehničke mjere mogu se ažurirati na vrijeme kako bi odražavali i ispunili dinamične potrebe kupaca.

Prognoziranje broja turista analizirao je Sour (2020). Na temelju podataka o broju međunarodnih dolazaka u Kinu, Španjolsku, SAD, Francusku, Italiju i Meksiko, razvijena su tri modela Markovljevih lanaca za procjenu vjerojatnosti posjeta turista ovim destinacijama. Kako bi pružili potrebne informacije državnim kreatorima politike, putničkim tvrtkama, zračnim prijevoznicima i istraživačima, Choi et al. (2011) razvili su model Markovljevog lanca za predviđanje turističkih destinacija putnika.

Markovljevi lanci koriste se i u odabiru usluga oblaka (eng. cloud services) posebice kada korisnici oblaka mijenjaju svoje preferencije na temelju zahtjeva i razine zadovoljstva uslugom (Nawaz et al., 2018). Za rangiranje usluga autori su koristili metodu najbolji-najgori (eng. Best Worst Method). Model čekanja usluge u oblaku korištenjem vremena čekanja u redu čekanja, vremena kašnjenja mreže i vremena obrade poslužitelja postavljen je na temelju Markovljevog lanca u radu Yang et al. (2018). Na temelju višekriterijalnog odlučivanja i Markovljevog lanca, Hemam et al. (2016) su predstavili model odabira usluge u oblaku uzimajući u obzir balansiranje opterećenja u različitim oblacima obzirom da brojni davatelji usluga nude slične usluge po različitim cijenama i razinama izvedbe. Ovaj se problem javlja u okruženju s više oblaka kada se treba odabrati usluga uzimajući u obzir preferencije korisnika (minimiziranje troškova i vremena odgovora) i zahtjeve sustava (balansiranje opterećenja između oblaka).

Algoritmi za analizu veza za web tražilice određuju važnost i relevantnost web stranica. Među algoritmima za analizu poveznica, PageRank je najsuvremeniji mehanizam za rangiranje koji se danas koristi u tražilici Google. PageRank algoritam može se promatrati kao Markovljev lanac za predviđanje ponašanja sustava koji putuje iz jednog stanja u drugo stanje uzimajući u obzir samo trenutno stanje. Kumar et al. (2013) analiziraju problem visećih čvorova jer se ti čvorovi ne mogu prikazati u modelu Markovljevog lanca. Mioc et al. (2015) analizirali su pageRank i njegovu ovisnost o duljini Markovljevog lanca.

## Metodologija istraživanja

Stohastički proces koji zadovoljava Markovljevo svojstvo da je ponašanje procesa u neposrednoj budućnosti, a uvjetno na sadašnjost i prošlost, jednako ponašanju procesa u neposrednoj budućnosti uvjetno samo na sadašnjost, naziva se Markovljev lanac. Za niz slučajnih varijabli  $(X_t, t \in \mathbb{N}_0)$  s diskretnim skupom stanja  $S = \{i, j, i_0, i_1, \dots, i_{t-1}\}$  Markovljevo svojstvo može se zapisati na sljedeći način

$$\mathbb{P}(X_{t+1} = j | X_t = i, X_{t-1} = i_{t-1}, \dots, X_0 = i_0) = \mathbb{P}(X_{t+1} = j | X_t = i), t \in \mathbb{N}_0, i, j \in S \quad (1)$$

pri čemu vremenski trenutak  $t + 1$  predstavlja budućnost,  $t$  sadašnjost, a trenuci  $0, \dots, t - 1$  prošlost. Markovljev lanac je vremenski homogen, što znači da vjerojatnost prijelaza Markovljevog lanca iz stanja  $i$  u stanje  $j$  ovisi samo o stanjima  $i$  i  $j$ , ne i o trenutku u kojem se prijelaz događa, tj.

$$\mathbb{P}(X_{t+1} = j | X_t = i) = \mathbb{P}(X_1 = j | X_0 = i) \text{ za svaki } i, j \in S, t \in \mathbb{N}_0 \quad (2)$$

Prijelazne vjerojatnosti (2) označavaju se s  $p_{ij}$  i predstavljaju vjerojatnosti prijelaza lanca iz stanja  $i$  u stanje  $j$  u jednom koraku. Zapisuju se u matricu prijelaznih vjerojatnosti  $P = [p_{ij}]_{i,j \in S}$ . Elementi matrice prijelaznih vjerojatnosti su nenegativni i zbroj elemenata u svakom retku matrice prijelaznih vjerojatnosti je jedan.

Osim raspodjelom prijelaza lanca iz jednog stanja u drugo stanje u jednom vremenskom koraku, ponašanje lanca u potpunosti je opisano i početnom raspodjelom lanca, tj. raspodjelom slučajne varijable  $X_0$ . Za  $i \in S$ ,

$$p_i^{(0)} = \mathbb{P}(X_0 = i) \quad (3)$$

označava vjerojatnost nalaženja proces u početnom trenutku promatranja u stanju  $i$ , a  $p^{(0)}$  raspodjelu slučajne varijable  $X_0$ . Vjerojatnost da proces dođe u stanje  $i$  nakon  $n$  koraka jednaka označava se s

$$p_i^{(n)} = \mathbb{P}(X_n = i), i \in S \quad (4)$$

dok se vektor stanja nakon  $n$  koraka označava sa  $p^{(n)}$ . Tada za svaki  $j \in S$  vrijedi

$$p_j^{(n)} = \sum_{i \in S} p_i^{(0)} p_{ij}^{(n)} \quad (5)$$

Dakle, uz poznatu matricu prijelaznih vjerojatnosti i poznati početni vektor stanja može se odrediti vektor stanja u bilo kojem koraku  $n$ .

Ponašanje Markovljevog lanca u dogom roku, odnosno određivanje vjerojatnosti da će proces biti u svakom stanju nakon velikog broja prijelaza, neovisno o početnom stanju, moguće je analizirati za ireducibilne, ergodične lance (Hillier et al., 2000). Za svaki ireducibilan, ergodičan lanac vrijedi

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{ij}^{(n)} = \pi_j > 0 \quad (6)$$

$\pi_j$  su vjerojatnosti stabilnog stanja Markovljevog lanca i za svaki  $j \in S$  vrijedi

$$\pi_j = \sum_{i \in S} \pi_i p_{ij} \quad (7)$$

U matričnom obliku (7) se može zapisati kao

$$\pi = P\pi \quad (8)$$

Vektor  $\pi = [\pi_i]_{i \in S}$  naziva se vektor stabilnog stanja. Detaljnije o Markovljevim lancima vidjeti u (Winston et al., 2004; Brooks et al., 2011; Brémaud, 2020).

## Razvoj modela predviđanja korištenja usluge i prognoziranja broja korisnika

U ovom poglavlju prikazana su dva primjera rješavanja problema predviđanja korištenja usluge i prognoziranja broja korisnika korištenjem metode Markovljevih lanaca na realnom primjeru poslovne organizacije. Za svaki od primjera izgrađen je model na temelju metodologije opisane u prethodnom poglavlju, te je pomoću metode Markovljevih lanaca prikazano rješenje problema predviđanja i prognoziranja.

## Problem predviđanja korištenja usluga

Prikaz modela predviđanja korištenja usluge temelji se na realnom primjeru organizacije sa poslovnica diljem Republike Hrvatske koja zapošljava više od 1000 zaposlenika. Naziv poslovne organizacije se ne navodi radi čuvanja povjerljivosti informacija. Organizacija odabrana za praktični primjer kao osnovnu djelatnost navodi pružanje elektroničkih i financijskih usluga te razvoj web aplikacija koje nudi na svojim vlastitim serverima. Model se temelji na problemu predviđanja korištenja web programske aplikacije koju organizacija nudi novim poduzetnicima. Promatrana programska aplikacija osmišljena je na način da poduzetnicima olakšava pokretanje poslovanja. Za adekvatnije donošenje poslovnih odluka vezanih uz kapacitete servera na kojem se nudi web aplikacija, rukovodstvo organizacije ima zahtjev da se procjeni korištenje ranije spomenutih usluga za narednih šest mjeseci. Kako bi dobila relevantne podatke od krajnjih korisnika, organizacija provodi istraživanje o korištenju usluga putem anketnog upitnika. Svoje zadovoljstvo ili nezadovoljstvo korisnik može izraziti na način da ispuni anketu kada završi s korištenjem usluge web aplikacije. Korisnik se također može izjasniti o namjeri ponovnog korištenja. Na temelju prikupljenih podataka putem anketnog upitnika izrađen je model predviđanja potražnje za uslugama u budućem razdoblju pomoću metode Markovljevih lanaca.

Podaci koji se koriste u izradi modela predviđanja potražnje za uslugama obuhvaćaju razdoblje od šest mjeseci poslovanja organizacije. Spomenuta web programska aplikacija pruža veći broj elektroničkih usluga, ali za potrebe ovog istraživanja napravljena je procjena korištenja za tri najkorištenije usluge. Usluge su radi jednostavnosti označene s oznakama A, B i C. Prema podacima poduzeća web programska aplikacija ima 1500 registriranih korisnika. Od 1500 korisnika koji su registrirani u web programskoj aplikaciji, dok je broj korisnika koji je koristilo jednu od tri navedene usluge 452. Pri tome od ukupnog broja korisnika (452), uslugu A koristilo je 232, uslugu B 163, dok je najmanje korisnika koristilo uslugu C, točnije 57. Nakon korištenja usluge, kao što je prethodno navedeno, svoje zadovoljstvo/nezadovoljstvo korisnici su mogli izraziti putem ankete. Između ostalog, korisnici su imali mogućnost da se izjasne koju bi uslugu bili voljni koristiti u slučaju da nisu zadovoljni dosadašnjom pri čemu su im bile ponuđene ostale dvije konkurentne usluge. Temeljem spomenute mogućnosti 232 korisnika koji su prvotno koristili A uslugu, njih 172 izjasnilo da bi ponovno koristili uslugu A, dok se njih 60 izjasnilo kako ne bi ponovno koristili uslugu A, već od ponuđenih B i C usluga, njih 39 se izjasnilo da bi sljedeći put koristili uslugu B, dok njih 21 se izjasnilo da bi sljedeći put koristili uslugu C. Od 163 korisnika koji su koristili uslugu B, njih 112 se izjasnilo da ima namjeru sljedeći put koristiti uslugu B, dok se njih 51 izjasnilo da neće sljedeći put koristiti uslugu B. Na pitanje koju bi od ponuđenih konkurentskih usluga koristili da li A ili C, njih 28 se izjasnilo da bi kod narednog korištenja izabrali uslugu A, dok se njih 23 izjasnilo da bi koristilo uslugu C. Od 57 korisnika koji su koristili uslugu C, njih 40 se izjasnilo da bi se sljedeći put opredijelilo koristiti uslugu C, dok se njih 17 izjasnilo da neće sljedeći put koristiti uslugu C. Na pitanje koju bi od konkurentskih usluga koristili od ponuđenih A i B usluga, njih 6 se izjasnilo da bi sljedeći put koristilo uslugu A, dok se njih 11 izjasnilo da bi sljedeći put koristilo uslugu C.

Tablica 1 prikazuje broj korisnika za svaku uslugu, odnosno koliko je korisnika zadovoljnih sa kojom od pruženih usluga, a koliko je onih koji nisu bili zadovoljni s pruženom uslugom. Prezentirani podaci preuzeti su iz produkcijske baze podataka web aplikacije koja pruža ove usluge te su prema tome podaci u potpunosti istiniti i relevantni te prikazuju realno stanje.

*Tablica 1*

Prikaz podataka o zadovoljstvu korisnika

Usluga	Broj korisnika	Broj zadovoljnih korisnika	Broj nezadovoljnih korisnika
A	232	172	60
B	163	112	51
C	57	40	17

*Izvor:* Gazdek (2020, p. 17)

Broj nezadovoljnih korisnika za pojedinu uslugu prikazan je u tablici u nastavku (Tablica 2) kao i odluke korisnika o tome koju bi od konkurentskih usluga prilikom sljedećeg korištenja uzeli u obzir.

*Tablica 2*

Prijelaz korisnika na druge usluge

Usluga	Nezadovoljni korisnici	Prijelaz na uslugu A	Prijelaz na uslugu B	Prijelaz na uslugu C
A	60	-	39	21
B	51	28	-	23
C	17	6	11	-

*Izvor:* Gazdek (2020, p. 17)

### **Rješavanje problema predviđanja korištenja usluga**

Na temelju podataka prikazanih u tablicama u prethodnom poglavlju izgrađen je model prema metodologiji opisanoj u prethodnim poglavljima rada. U prvom koraku (Tablica 3) dan je prikaz kretanja korisnika prilikom korištenja različitih usluga.

Tablica 3

Kretanje broja korisnika

Usluga	Korištenje usluga polovica 2019. -2.	Pad korištenja			Broj lojalni korisnici -	Rast korištenja			Korištenje usluga polovica 2020. (anketiranje) -1.
		A	B	C		A	B	C	
A	232	0	39	21	172	0	28	6	206
B	163	28	0	23	112	39	0	11	162
C	57	6	11	0	40	21	23	0	84

Izvor: Gazdek (2020, p. 18)

Kako bi se mogla izraditi prognoza u daljnjem koraku rješavanja problema izračunata je matrica prijelaznih vrijednosti. Matrica je označena prigodno s  $P = [p_{3,3}]$ , što znači da je uzeta u obzir prognoza za tri usluge koje se prethodno spominju u problemu. Matrica prijelaznih vjerojatnosti dana je u nastavku:

$$P = \begin{pmatrix} 0,741 & 0,172 & 0,105 \\ 0,168 & 0,687 & 0,193 \\ 0,091 & 0,141 & 0,702 \end{pmatrix}$$

Osnovna pretpostavka Markovljevihi lanaca je da vjerojatnost budućeg stanja ovisi o izlaznom rezultatu prethodnog razdoblja. Slijedom navedenog, izračunata je matrica  $A_0$  koja predstavlja strukturu korištenja usluga u prvom promatranom razdoblju:

$$A_0 = \begin{pmatrix} 0,456 \\ 0,358 \\ 0,186 \end{pmatrix}$$

Nakon što je izračunata matrica prijelaznih vrijednosti  $P$  i struktura korištenja usluga za prvo promatrano razdoblje  $A_0$  izračunato je i učešće korištenja usluga za drugo razdoblje:

$$A_1 = P \cdot A_0 = \begin{pmatrix} 0,741 & 0,172 & 0,105 \\ 0,168 & 0,687 & 0,193 \\ 0,091 & 0,141 & 0,702 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,456 \\ 0,358 \\ 0,186 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,419 \\ 0,358 \\ 0,223 \end{pmatrix}$$

Na temelju prikazanog izračuna učešća korištenja usluga za drugo razdoblje mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Učešće korištenja usluge A u prvoj polovici promatranog razdoblja bilo je 45,6%, dok je u drugoj polovici promatranog razdoblja 41,9% na temelju čega se može zaključiti da je došlo do pada korištenja usluge A.
- Učešće korištenja usluge B u prvoj polovici promatranog razdoblja bilo je 35,8%, dok je u drugoj polovici promatranog razdoblja također 35,8% stoga je zaključak da je učešće korištenja usluge B ostalo isto.

- Učešće korištenja usluge C u prvoj polovici promatranog razdoblja bilo je 18,6%, dok je u drugoj polovici promatranog razdoblja 22,3% što navodi na zaključak da je došlo do povećanja korištenja usluge C.

Korištenjem matrice vjerojatnosti prijelaza promatranu organizaciju izračunato je i stabilno stanje učešća koje nastupa pod pretpostavkom da na tržištu nema pojavljivanja konkurentskih usluga ili pak pod pretpostavkom da organizacija ne uvede novu uslugu, što je prikazano u nastavku:

$$A_{m+1} = P \cdot A_{m+1} \Rightarrow \begin{pmatrix} 0,741 & 0,172 & 0,105 \\ 0,168 & 0,687 & 0,193 \\ 0,091 & 0,141 & 0,702 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix}$$

Dobivena matrica stabilnog stanja je:  $\begin{pmatrix} 0,355 \\ 0,364 \\ 0,281 \end{pmatrix}$

Uz pretpostavku da se ne mijenja stanje na tržištu i nema uvođenja konkurentskih usluga, udjeli korištenja usluga A, B i C u stabilnom stanju prikazuju da se može predvidjeti interes potrošača vezano uz prvi proizvod 35,5%, za drugi proizvod 36,4%, dok za treći proizvod 28,1%, što je relevantna informacija za organizaciju u daljnjem donošenju poslovnih odluka u svrhu planiranja potražnje za buduća razdoblja.

### Problem i rješenje prognoziranja broja korisnika

Promatrana organizacija tijekom vremena počela je s prilagodbom već postojeće web programske aplikacije za slijepo i slabovidne te s prilagodbom web programske aplikacije na engleski jezik. Prema istraživanjima koja su provedena od strane promatrane organizacije na području Republike Hrvatske postoji 12000 stanovnika koji su potencijalni korisnici te aplikacije nakon što uvedu prethodno navedene funkcionalnosti u aplikaciju. Istraživanje organizacije na uzorku od 700 korisnika i 1200 nekorisnika dovelo je do saznanja da od 700 korisnika, njih 534 ostali su korisnici, a njih 166 postali su nekorisnici web aplikacije. Od 1200 nekorisnika, njih 913 su ostali nekorisnici, a njih 287 postali su korisnici. 12000 osoba za koje se aplikacija prilagođava predstavljaju potencijalne nove korisnike web programske aplikacije te je za organizaciju interesantna prognoza koliko će imati novih korisnika u narednom razdoblju i isplati li se prema danim podacima o zainteresiranosti ići sa prilagodbom.

Iz prethodno navedenih podataka izračunata je matrica prijelaznih vjerojatnosti:

$$\begin{array}{l} \text{Vrijeme } t = 1 \\ \text{Vrijeme } t = 0 \end{array} \begin{array}{cc} & \begin{matrix} NC_1 & C_1 \end{matrix} \\ \begin{matrix} NC_0 \\ C_0 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0,761 & 0,239 \\ 0,237 & 0,763 \end{pmatrix} \end{array}$$

Matrica prijelaznih vjerojatnosti poslužila je za prognozu broja kupaca za naredna dva razdoblja. Nakon provedenog izračuna, za naredno razdoblje ( $t_2$ ), može se zaključiti da je od 12000 potencijalnih korisnika njih 2876 postalo korisnici web aplikacije. Kako bi se dobili podaci o broju novih korisnika za naredno razdoblje ( $t_3$ ), potrebno je



ponoviti postupak izračuna. Nakon ponovno provedenog izračuna, relevantna informacija za organizaciju je da može očekivati 4371 novih korisnika, na temelju čega može planirati vlastite resurse i donositi adekvatne poslovne odluke.

## Aplikacija za rješavanje problema predviđanja korištenja usluga i prognoziranje broja korisnika

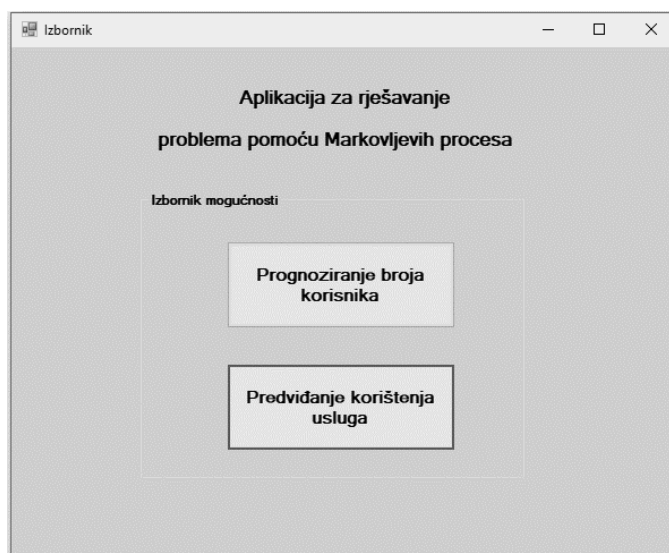
U sljedećem poglavlju prikazane su dvije zasebne funkcionalnosti koje izrađena programska aplikacija pruža, funkcionalnost predviđanja korištenja usluga i funkcionalnost prognoziranja broja korisnika zajedno sa primjenom same programske aplikacije.

### Prikaz funkcionalnosti i korištenje dijela aplikacije za predviđanje korištenja usluga

Kada se na početnom izborniku odabere opcija „Predviđanje korištenja usluga“ pokrećemo funkcionalnost predviđanja korištenja usluga. Nakon toga aplikacija omogućava prikaz forme za unos podataka koja omogućava korisniku unos relevantnih podataka na temelju kojih će se izvršiti prognoziranje. Za svaki podatak koji korisnik unese programska aplikacija vrši provjeru ispravnosti te u slučaju pogrešnog unosa prikazuje poruku s opisom greške.

#### Slika 1

Početni izbornik



Izvor: Gazdek (2020, p. 31)

Nakon što korisnik unese sve podatke i aplikacija provjeri ispravnost, na istoj formi omogućen je gumb za izračun matrice prijelaznih vrijednosti. Nakon odabira izračuna matrice prijelaznih vjerojatnosti, programska aplikacija izračunava matricu te prilagođava veličinu forme i prikazuje čitavu matricu na formi. Po izračunu matrice

prijelaznih vrijednosti, aplikacija omogući prikaz gumba za izračun strukture. Odabere li korisnik mogućnost izračuna strukture, aplikacija izračunava strukturu te prikazuje izračunatu strukturu (Slika 2) na formi uz mogućnost njene interpretacije.

Slika 2

Predviđanje korištenja usluga - prikaz izračunate strukture

Usluga	Korištenje usluga (prethodno razdoblje)	Pad korištenja			Vjerni korisnici	Rast korištenja			Korištenje usluga (sljedeće razdoblje)
		A	B	C		A	B	C	
A	232	0	39	21	172	0	28	6	206
B	163	28	0	23	112	39	0	11	162
C	57	6	11	0	40	21	23	0	84

Matrica prijelaznih vjerojatnosti			
Interpretacija			
1. redak			
0,741	0,172	0,105	
0,168	0,687	0,193	
0,091	0,141	0,702	

Struktura korištenja usluga	
0,456	
0,358	
0,186	
Interpretacija	

Izvor: Gazdek (2020, p. 37)

Aplikacija korisniku pruža i daljnje četiri mogućnosti: (1) izlaz iz aplikacije, (2) interpretaciju rezultata, (3) čišćenje polja u kojima su uneseni podaci i (4) izračun udjela u nekoliko sljedećih razdoblja te udjele u stabilnom stanju. Odabere li korisnik opciju izračun udjela, pokreće se izračun udjela u nekoliko sljedećih razdoblja te u stabilnog stanja uz mogućnost interpretiranja izračunatih udjela (Slika 3).

Slika 3

Predviđanje korištenja usluga - prikaz interpretacije stabilnog stanja

The screenshot shows a software interface for predicting service usage. A dialog box titled 'Interpretacija stabilnog stanja' is open, displaying the following information:

- Udjeli usluga u stabilnom stanju su sljedeći:
- Udio korištenja usluge A u stabilnom stanju iznosi: 35,5%
- Udio korištenja usluge B u stabilnom stanju iznosi: 36,4%
- Udio korištenja usluge C u stabilnom stanju iznosi: 28,1%

The background interface includes a table of service usage for three services (A, B, C) across different periods, a transition probability matrix, and a section for interpreting the results.

Izvor: Gazdek (2020, p. 42)

Nakon što su izračunati udjeli, aplikacija pruža mogućnost da korisnik iz padajućeg izbornika može odabrati razdoblje za koje želi prikaz udjela. Ako korisnik odabere opciju interpretacija, otvara se forma u kojoj je prikazana interpretacija izračunatih podataka (Slika 4).

Slika 4

Predviđanje korištenja usluga - prikaz interpretacije udjela u sljedećem razdoblju

The screenshot shows the same software interface, but with a different dialog box titled 'Interpretacija udjela za 1. razdoblje' open. The dialog displays the following information:

- Udjeli usluga za 1. razdoblje su sljedeći:
- Udio korištenja usluge A za 1. razdoblje iznosi: 41,9%
- Udio korištenja usluge B za 1. razdoblje iznosi: 35,8%
- Udio korištenja usluge C za 1. razdoblje iznosi: 22,3%

The background interface is identical to Slika 3, but the 'Udjeli u sljedećim razdobljima' section now shows data for the 1st period.

Izvor: Gazdek (2020, p. 40)

Odabere li korisnik opciju čišćenja polja, svi uneseni podaci se brišu. Između ostalog aplikacija pruža korisniku i „pomoć kod korištenja“, pritiskom na tipku „F1“ na tipkovnici na prozoru za predviđanje korištenja usluga, otvara mu se „Help center“, u

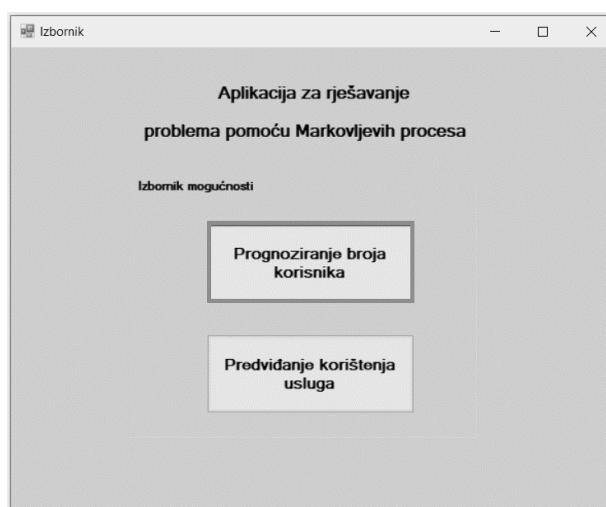
kojem su objašnjene sve mogućnosti koje mu aplikacija pruža. Korisničku potporu „Help center“ korisnik može pozvati u bilo kojem trenutku izvođenja programske aplikacije. Odabirom opcije izlaz ponovno se prikazuje početni izbornik.

### Prikaz funkcionalnosti i korištenje dijela aplikacije za prognoziranje broja korisnika

Funkcionalnost prognoziranja broja korisnika započinje sa korištenjem kada se na početnom izborniku odabere opcija „Prognoziranje broja korisnika“ (Slika 5).

Slika 5

Prognoziranje broja korisnika - prikaz početnog izbornika



Izvor: Gazdek (2020, p. 43)

Odabirom opcije „Prognoziranje broja korisnika“ programska aplikacija prikaže formu za unos podataka te je korisniku omogućen unos. Kao i kod prethodne opcije svaki korisnikov uneseni podatak aplikacija provjerava te u slučaju pogrešnog unosa prikazuje poruku s opisom greške. Nakon ispravno unesenih podataka, korisniku se na formi prikazuje gumb za izračun matrice prijelaznih vrijednosti. Nakon što je pokrenut izračun matrice prijelaznih vrijednosti, aplikacija izračunava matricu te prilagođava veličinu forme i prikazuje matricu na formi. Nakon izračuna korisnik ima 4 mogućnosti: (1) izlaz iz aplikacije, (2) interpretaciju rezultata, (3) čišćenje polja u kojima su uneseni podaci i (4) izračun udjela u nekoliko sljedećih razdoblja te udjele u stabilnom stanju. Odabere li korisnik opciju izračuna broja korisnika, veličina forme se prilagođava te se izračuna i prikaže prognoza broja korisnika u nekoliko sljedećih razdoblja uz mogućnost interpretacije izračunatih prognoza. Nakon što su prognoze broja korisnika izračunate, korisniku se omogućava da iz padajućeg izbornika odabere razdoblje za koje želi prikaz prognoze broja korisnika. Odabirom opcije interpretacija, otvara se forma u kojoj se prikazuje interpretacija izračunatih podataka (Slika 6).

Slika 6

Prognoziranje broja korisnika - prognoza broja kupaca za 3. razdoblje i interpretacija rezultata

The screenshot shows a software interface for forecasting the number of users. The main window is titled "Prognoziranje broja korisnika". It contains several input fields under the heading "Podaci za unos" (Input Data):

- Broj korisnika - uzorak: 700
- Broj nekorisnika - uzorak: 1200
- Broj potencijalnih korisnika: 12000

There are also two columns of input fields on the right side of the main window, with labels: "nekorisnika postalo korisnici" (287), "korisnika postalo nekorisnici" (166), "korisnika ostalo korisnici" (534), and "nekorisnika ostalo nekorisnici" (913). Buttons for "Popuni podatke" and "Očisti polja" are present.

A modal dialog box titled "Intepretacija" is open, displaying the following text:

Intepretacija za 3. razdoblje:  
Od potencijalnih 12000 korisnika, njih 4371 će postati korisnici, dok će preostalih 7629 ostati nekorisnici

Below the dialog, there are fields for "Razdoblje: 3. razdoblje", "Nekorisnici: 7629", and "Korisnici: 4371", along with an "Intepretacija" button.

Izvor: Gazdek (2020, p. 47)

Odabere li korisnik opciju čišćenja polja, svi podaci koje je korisnik unio, a aplikacija koristila za izradu izračuna, se brišu. Odabirom opcije izlaz, aplikacija vraća prikaz na početni izbornik.

## Zaključak

Jedna od najčešće primjenjivanih metoda za predviđanje ekonomskih pojava u budućnosti je metoda Markovljevih lanaca. U ovom je radu metoda Markovljevih lanaca primijenjena za rješavanje problema predviđanja ponašanja potrošača. U samom radu naglasak je stavljen na probleme prognoziranja kroz prikaz izrađene programske aplikacije za predviđanje korištenja usluga i prognoziranje broja korisnika.

U radu je između ostalog dan i prikaz računskog postupka primjenom metode Markovljevih lanaca te se nakon toga prikazuje i postupak rješavanja istog problema predviđanja uz pomoć izrađene aplikacije. Kako bi definiranje problema bilo moguće,

organizacija koja je poslužila kao praktičan primjer iz baze podataka pružila podatke o korištenju usluga iz prethodnog razdoblja i podatke koji su dobiveni istraživanjem tržišta putem anketiranja korisnika. Na temelju tih podataka izrađen je model te pomoću metode Markovljevih lanaca izračunato predviđanje o broju korisnika aplikacije koja pruža usluge, kao i broj korisnika po pojedinoj usluzi.

Organizaciji koja se bavi pružanjem elektroničkih usluga ti podaci su vrlo važni kako bi mogli predvidjeti kapacitete servera na kojima se nalazi web aplikacija za slijepe i slabovidne te prilagodba web aplikacije na engleski jezik. Usporedbom rezultata dobivenih računskim postupkom i pomoću programske aplikacije, došlo se do istih rezultata, kao i spoznaje da je programska aplikacija pouzdana te se može preporučiti prilikom rješavanja problema predviđanja korištenja usluga i prognoziranja broja korisnika. Iz svega navedenog može se zaključiti da su se Markovljevi lanci pokazali pouzdanima za rješavanje problema s kojim se je suočila organizacija koja se bavi pružanjem elektroničkih usluga čije je poslovanje prikazano u okviru ovog rada.

## Literatura

Andersen, A.R., Nielsen, B.F. i Reinhardt, L.B. (2017). *European journal of operational research*, 260(3), 1152-1163, doi: 10.1016/j.ejor.2017.01.026.

Ben Mzoughia, M. i Limam, M. (2015). An improved customer lifetime value model based on Markov chain. *Applied stochastic models in business and industry*, 31(4), 528-535, doi: 10.1002/asmb.2053.

Brémaud, P. (2020). *Markov Chains: Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation and Queues*. Springer International Publishing.

Brooks, S.; Gelman, A.; Jones, G. i Meng, X.-L. (2011). *Handbook of Markov Chain Monte Carlo*. CRC press.

Choi, J-G., Mok, J-W., Han i J-S. (2011). The Use of Markov Chains to Estimate Destination Switching and Market Share. *Tourism Economics*, 17(6), 1181-1196. <https://doi.org/10.5367/te.2011.0091>

Dziedziolowski, K.(2015). Predicting customer attrition with Markov chain. *European Conference on Data Mining (ECDM) / International Conference on Intelligent Systems and Agents / International Conference on Theory and Practice in Modern Computing*, Las Palmas, SPAIN, 157-161.

Gazdek, A. (2020). Korištenje metode Markovljevih procesa u predviđanju ponašanja potrošača, Diplomski rad. Fakultet organizacije i informatike, Varaždin.

Hemam, S. M. i Hioual, O. (2016). Load Balancing Issue in Cloud Services Selection By Using MCDA and Markov Chain Model Approaches. *2nd International Conference on Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech)*, Marrakech, MOROCCO, 163-169.

Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2000). *Introduction to operations research*, 7th Edition. New York: McGraw-Hill.

Kumar, Ravi P., Goh, Alex K. L. i Ashutosh, K. S. (2013). Application of Markov Chain in the PageRank Algorithm. *Pertanika journal of science and technology*, 21(2), 541-553.

Mioc, M.A. i Pentiu, S.G. (2015). Study of a Random Navigation on the Web Using Software Simulation. *Brain-broad research in artificial intelligence and neuroscience*, 6(1-2), 97-105.

Nazir, A., Anggraini, L., Octavia, L. i Syafria, F. (2016). Hospital Patients Arrival Prediction Using Markov Chain Model Method. 4th International Conference on Cyber and IT Service Management, Bandung, INDONESIA, 268-274.

Nawaz, F. et al. (2018). An MCDM method for cloud service selection using a Markov chain and the best-worst method. *Knowledge-based systems*, 159, 120-131, doi: 10.1016/j.knosys.2018.06.010.

Shieh, J-I. i Wu, H.H. (2009). Applying a hidden Markov chain model in quality function deployment to analyze dynamic customer requirements. *QUALITY & QUANTITY*, 43(4), 635-644, doi: 10.1007/s11135-007-9153-8.

Sour, L. (2020). Forecast of destination change and market share among the world's top tourist destinations through Markov chains. *Turismo-estudos e praticas*, 9(2).

Winston, W. L. i Goldberg, J. B. (2004). *Operations research: Applications and algorithms* (4th ed.). Australia; Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole.

Yang, Z.X., Liu, W. i Xu, D. (2018). Study of cloud service queuing model based on imbedding Markov chain perspective. *Cluster computing-the journal of networks software tools and applications*, 21(1), 837-844, doi: 10.1007/s10586-017-0907-3.

Zhang, X-L. et al. (2013). Forecasting Emergency Department Patient Flow Using Markov chain. 2013 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE SYSTEMS AND SERVICE MANAGEMENT (ICSSSM), 278-282.

## O autorima

Nikolina Žajdela Hrustek docentica je na Fakultetu organizacije i informatike Sveučilišta u Zagrebu, gdje je i doktorirala 2015. godine. U nastavi sudjeluje na kolegijima Operacijska istraživanja, Vođenje projekata, Modeliranje i simulacije, Primijenjene metode istraživanja u društvenim znanostima i Operacijski menadžment. Kao vanjska suradnica izvodi nastavu u okviru specijalističkoga diplomskoga studija Javna uprava na Pravnom fakultetu. U svom znanstvenom i stručnom radu kao suradnica ili voditeljica radila je na brojnim znanstvenim i stručnim projektima. Autorica je pedesetak znanstvenih i stručnih radova objavljenih u znanstvenim i stručnim časopisima te zbornicima znanstvenih i stručnih konferencija. Autoricu je moguće kontaktirati na nikolina.zajdela@foi.unizg.hr.

Damira Keček docentica je na Sveučilištu Sjever gdje sudjeluje u izvođenju nastave na preddiplomskim stručnim studijima iz kolegija Matematika I i Matematika II te na diplomskom sveučilišnom studiju Poslovna ekonomija u okviru kolegija Kvantitativne metode poslovnog odlučivanja. Doktorsku disertaciju obranila je u okviru

poslijediplomskog međunarodnog združenog doktorskog sveučilišnog studija International Joint Cross-Border PhD Programme in International Economic Relations and Management. Izlaže na domaćim i međunarodnim znanstvenim te stručnim konferencijama. Objavljuje znanstvene i stručne radove iz područja matematike, ekonomije, informacijskih znanosti. Autorica je brojnih matematičkih udžbenika te zbirke zadataka i riješenih primjera iz matematike. Autoricu je moguće kontaktirati na [dkecek@unin.hr](mailto:dkecek@unin.hr)

Antonio Gazdek magistar je informatike, diplomirao na Fakultetu organizacije i informatike Sveučilišta u Zagrebu 2020.godine. Radi u privatnom sektoru kao software engineer. Autora je moguće kontaktirati na [antoniogazdek2@gmail.com](mailto:antoniogazdek2@gmail.com).