

## MARKOVLJEVI MODELI U PLANIRANJU KAPACITETA LUČKIH SREDSTAVA ZA RAD

Osnovni cilj istraživanja ovog rada bio je prikazati načine i mogućnosti te obrazložiti opravdanost primjene slučajnih procesa u planiranju kapaciteta lučkih sredstava za rad. Planiranje lučkog kapaciteta, posebno kapaciteta lučkih sredstava za rad, odabrano je kao problem istraživanja. Postavljena je hipoteza da se kapaciteti lučkih sredstava za rad mogu planirati primjenom odgovarajućih kvantitativnih metoda, i to teorijom slučajnih procesa. Testiranje modela koje je obavljeno na odabranim primjerima potvrdilo je postavljenu hipotezu. Vrijednost je modela u njihovoj primjenjivosti ne samo u slučaju promjena uvjeta poslovanja lučkog sustava i različitih vrsta lučkih sredstava za rad, već i u svim procesima opsluživanja koji se pojavljuju u različitim granama prometa.

Magistarski rad izrađen je pod mentorstvom dr. sc. Zdenke Zenzerović. Rad obuhvaća ukupno 170 stranica, a u tekstu su inkorporirane 4 tablice, 3 grafikona i 11 shema te je korišten bibliografski opus od 63 naslova.

Da bi mogla zadovoljiti svoju osnovnu funkciju, morska luka treba raspolagati odgovarajućim kapacitetima svih elemenata koji sudjeluju u procesu proizvodnje lučke usluge, od kojih su najvažnija sredstva za rad čiji kapaciteti trebaju odgovarati očekivanoj potražnji za lučkom uslugom.

Planiranje kapaciteta u luci vrlo je složen zadatak budući da promet ima značajke slučajnog procesa u statističkom smislu. Promet je tereta neravnomjeran; oscilacije prometa u lukama, koje se ne mogu izbjeći niti utvrditi količinski, u sadašnjosti i budućnosti, utječu na problem dimenzioniranja kapaciteta. Iz toga proizlazi potreba planiranja lučkog kapaciteta, posebno kapaciteta lučkih sredstava za rad, što je magistrandica Svjetlana Bešlić odabrala kao problem istraživanja u svojem magistarskom radu.

Postoje različite metode planiranja kapaciteta, a u svezi s odabranim problemom istraživanja, Svjetlana Bešlić je postavila hipotezu da se kapaciteti lučkih sredstava za rad mogu planirati primjenom odgovarajućih kvantitativnih metoda, i to teorijom slučajnih procesa.

Cilj istraživanja ovog rada bio je prikazati načine i mogućnosti te obrazložiti opravdanost primjene slučajnih procesa u planiranju kapaciteta lučkih sredstava za rad.

Da bi se ostvario postavljeni cilj, definirani su ovi zadaci istraživanja:

- pojam i vrste lučkih sredstava za rad te njihov kapacitet
- pojam i vrste stohastičkih procesa te značajke luke kao stohastičkog procesa

- Markovljevi procesi kao vrsta stohastičkih procesa
- procesi rađanja i umiranja
- pojam i značajke sustava masovnog opsluživanja budući da se Markovljevi procesi mogu tretirati kao modeli sustava masovnog opsluživanja
- modeli planiranja kapaciteta lučkog sustava primjenom Markovljevih procesa
- testiranje modela na odabranim primjerima.

Cjelokupan tekst rada razvrstan je u devet interakcijski povezanih dijelova.

U prvom, *uvodnom* dijelu definiran je problem koji se namjerava istražiti, postavljena je hipoteza da se kapaciteti lučkih sredstava za rad mogu planirati primjenom teorije slučajnih procesa i definirana je tema magistarskog rada. U skladu s problemom istraživanja postavljen je osnovni cilj koji se može postići rješanjem zadataka istraživanja primjenom odgovarajućih znanstvenih metoda. Pregledno je dana ocjena dosadašnjih istraživanja tretirane problematike, opisane su korištene znanstvene metode i obrazložena je struktura rada.

U drugom dijelu s naslovom *Sredstva za rad lučkog sustava* navedena su obilježja luke kao sustava, definirani su pojmovi lučkog kapaciteta i opisana su sredstva za rad kao najvažnija komponenta lučkog sustava. Budući da je problem istraživanja planiranje kapaciteta lučkih sredstava za rad, objašnjen je pojam i sadržaj planiranja, planiranje iskoristivosti i razvoja kapaciteta sredstava za rad, te utjecaj neravnomjernosti prometa na dimenzioniranje njihova kapaciteta.

*Pojam i vrste stohastičkih procesa* naslov je trećeg dijela koji sadrži definiciju, obilježja i vrste stohastičkih procesa. To su matematički objekti/funkcije koje imaju slučajnu komponentu i za koje se tijekom promatranja ne mogu točno unaprijed predvidjeti vrijednosti njihovih trajektorija, što je slučaj u prometnim sustavima, pa tako i u lučkom sustavu.

U četvrtom dijelu s naslovom *Markovljevi procesi* dana je definicija i klasifikacija Markovljevih procesa, te istaknuta njihova svojstva budući da upravo ti procesi, kao vrsta stohastičkih procesa, imaju posebnu praktičnu važnost u planiranju prometnih kapaciteta.

Posebna vrsta Markovljevih procesa jesu procesi rađanja i umiranja, prikazani u petom dijelu s naslovom *Procesi rađanja i umiranja*. Definicija i osnovna obilježja tih procesa potrebni su za izučavanje sustava masovnog opsluživanja budući da se proces funkcioniranja velikog broja sustava opsluživanja može predstaviti procesom rađanja i umiranja.

Šesti dio ovog rada s naslovom *Sustav masovnog opsluživanja* (koji se u literaturi naziva i problem reda čekanja ili sustav posluživanja) sadrži definiciju i značajke sustava opsluživanja. Detaljno su opisani tokovi događaja, razdioba vremena dolazaka u sustav masovnog opsluživanja i razdioba vremena opsluživanja. Definirani su parametri i nabrojani pokazatelji funkcioniranja, te na kraju navedene vrste sustava masovnog opsluživanja prema raznim autorima.

Sedmi dio ima naslov *Markovljevi procesi – modeli analize sustava masovnog opsluživanja*. Taj je dio veza između Markovljevih procesa i sustava masovnog opsluživanja koja je prikazana kroz prepoznavanje svojstva stohastičnosti u

sustavima masovnog opsluživanja. Potom su opisani diskretni Markovljevi procesi, ergodični Markovljevi procesi i procesi rađanja i umiranja u tim sustavima. Posebno je značajan dio koji se odnosi na zakon vjerojatnosti stanja sustava masovnog opsluživanja i izvode formula za pokazatelje funkcioniranja jednokanalnog i višekanalnog sustava masovnog opsluživanja s beskonačnim brojem korisnika u redu čekanja.

Najveća pozornost posvećena je osmom dijelu s naslovom *Modeliranje kapaciteta lučkog sustava primjenom Markovljevih procesa* budući da je u ovom dijelu provjeravana istinitost postavljene hipoteze. Najprije je prikazana primjena teorije općih sustava na lučki sustav. Luka je potom opisana kao sustav masovnog opsluživanja, određeni su osnovni parametri lučkog sustava i prikazan je način izračunavanja pokazatelja funkcioniranja sustava, na temelju kojih se ocjenjuje efikasnost rada luke. Objasnjena je važnost planiranja optimalnog broja pristana, a od postojećih modela planiranja optimalnog broja pristana prikazan je model na temelju ukupnog vremena boravka broda u luci i model na temelju ukupnih troškova čekanja broda i pristana.

Prethodno prikazani modeli ispitani su na primjeru kontejnerskog terminala riječke luke za koji je provedena statistička analiza broja dolazaka brodova i duljine vremena njihova opsluživanja, a zatim su izračunati pokazatelji funkcioniranja lučkoga kontejnerskog terminala. Na temelju dobivenih rezultata određeno je optimalno rješenje, odnosno optimalan broj pristana lučkoga kontejnerskog terminala.

Na kraju je predstavljen i Markovljev model planiranja strukture lučkih prekrajnih sredstava s pomoću kojega se može prognozirati njihova optimalna struktura uz postavljeni kriterij optimizacije.

Prikazani modeli primjenjivi su ne samo za ilustrirane primjere, već i za ostala prekrajna sredstva te za bilo koji drugi lučki sustav, to više što se mogu primijeniti u svim procesima opsluživanja koji se javljaju u različitim prometnim granama i tehnološkim procesima.

U *zaključku* su sintetizirani osnovni rezultati do kojih se došlo znanstvenim instrumentarijem u rješavanju postavljenih zadataka i ostvarivanju osnovnog cilja ovog rada.

Magistarski rad Svjetlane Bešlić originalan je znanstveni rad koji daje doprinos tehnologiji prometa i transporta u sljedećem:

- Problem planiranja kapaciteta lučkih sredstava za rad obrađen je uzimajući u obzir mogućnosti i uvjete primjene teorije stohastičkih (slučajnih) procesa. To je učinjeno stoga što procesi u prometnim sustavima, pa tako i luci, imaju stohastička obilježja budući da su parametri kojim su definirani ti procesi slučajnog karaktera.
- S obzirom na opsežnost teorije slučajnih procesa, u skladu s predmetom istraživanja, odabrane su vrste slučajnih procesa važne za planiranje prometnih kapaciteta, posebno kapaciteta lučkog sustava.
- Primjenom Markovljevih procesa postavljeni su modeli za praćenje iskoristivosti postojećih kapaciteta i planiranje razvoja budućih kapaciteta lučkih sredstava za rad, s ciljem da se postigne efikasno funkcioniranje lučkog sustava u cjelini. To su: model određivanja

optimalnog broja pristana na temelju ukupnog vremena boravka broda te ukupnih troškova čekanja i model određivanja optimalne strukture lučkih prekrajnih sredstava.

- Prikazani su modeli testirani na konkretnim primjerima, međutim njihova je vrijednost u primjenjivosti ne samo u slučaju promjena uvjeta poslovanja lučkog sustava i različitih vrsta lučkih sredstava za rad, već i u svim procesima opsluživanja koji se pojavljuju u različitim granama prometa.

**Dr. sc. Zdenka Zenzerović**