

Mirko Bilić

OPTIMIZACIJA LUČKIH PREKRAJNIH PROCESA UPORABOM SISTEMSKE DINAMIKE

Doktorska disertacija mr. sc. Mirka Bilića pod naslovom “Optimizacija lučkih prekrajnih procesa uporabom sistemske dinamike”, izrađena pod mentorstvom prof. dr. sc. Čedomira Dundovića, obranjena je 4. srpnja 2008. godine na Pomorskom fakultetu u Rijeci. Povjerenstvo za obranu bilo je u sastavu: prof. dr. sc. Hrvoje Baričević – predsjednik, prof. dr. sc. Čedomir Dundović – mentor, prof. dr. sc. Blanka Kesić i prof. dr. sc. Dragan Čišić s Pomorskog fakulteta u Rijeci, te prof. dr. sc. Đorđe Nadrljanski, Filozofski fakultet u Splitu.

Doktorska disertacija sadrži 201 stranicu teksta, s 92 slike i 9 tablica, popis literature od 136 referencija, popis internetskih adresa, popis slika i tablica, te sažetak na hrvatskom i engleskom jeziku.

Rad je podijeljen u sljedeća poglavlja:

1. Uvod
2. Specifikacija značenja ključnih pojmova
3. Pregled metoda za rješavanje problematike doktorata
4. Modeliranje lučkog prekrajca kao sustava
5. Nužnost policentričnog i hijerarhijskog upravljanja i optimizacije procesa prekrajnih sustava
6. Analitički hijerarhijski proces
7. Teorija igara kao metoda za rješavanje menadžerske problematike u lukama
8. Metode donošenja odluka u procesu optimizacije prekrajnih sustava zasnovane na umjetnoj inteligenciji
9. Simulacijsko modeliranje
10. Modeliranje lučkog prekrajnog procesa
11. Istraživanje ponašanja dinamičkog kontinuiranog modela tijekom tereta
12. Komentar i ocjena validnosti dobivenih rezultata ponašanja modela
13. Zaključak.

Osnovna svrha i cilj istraživanja ove disertacije je znanstveno utemeljeno odrediti načine i mogućnosti te obrazložiti opravdanost primjene suvremenih metoda u upravljanju lučkim sustavom, konkretno sustavom prekrajca tereta.

U **Uvodu**, definirana je problematika koja se namjerava istražiti, postavljena je metodološka osnova koja obuhvaća ciljeve istraživanja, ocjenu dosadašnjih istraživanja, primijenjene znanstvene metode, doprinos doktorske dis-

ertacije. Definirana je hipoteza da je uspješno upravljanje lučkim prekrcajnim sustavom moguće primjenom suvremenih znanstvenih metoda i tehnika. U skladu s definiranim problemom istraživanja, postavljen je osnovni cilj koji glasi: “istražiti i razviti modele i metode kojima bi se unaprijedila kvaliteta donošenja odluka kvantitativnim sredstvima (softverska podrška), a radi racionalnijeg korištenja resursa (energije, novca, vremena, radne snage, otpada itd.) u svim domenama čovjekove djelatnosti; predložiti originalna rješenja i biti konkurentan vodećim istraživanjima u predmetnom području; afirmirati relevantnu metodologiju konceptualnoga modeliranja kompleksnih sustava, koja će omogućiti sustavni pristup problemskoj domeni te podržati reprezentacije sustava na različitim razinama”. Taj se cilj postiže rješenjem zadataka istraživanja, primjenom odgovarajućih znanstvenih metoda. Pregledno je dana ocjena dosadašnjih istraživanja tretirane problematike, opisane korištene znanstvene metode i obrazložena struktura doktorske disertacije.

U drugom dijelu s naslovom **Specifikacija – definicije značenja ključnih pojmova** dan je pregled i definicije ključnih pojmova relevantnih za istraživanje predmetne problematike disertacije. Nabrojani su ključni pojmovi i primjerena tumačenja tih pojmova. Nerijetko u uporabi istih pojmova u svakodnevnom govoru i znanosti postoji razlika.

Stoga, u znanosti ključnim pojmovima mora biti precizno određen sadržaj i moraju se rabiti u skladu s usvojenim definicijama. Postupak traganja za znanstveno relevantnim sadržajem nekog pojma naziva se specifikacija značenja ili konceptualizacija. U tom dijelu disertacije izložene su temeljne definicije i pojmovi relevantni za njezino izlaganje.

Pregled metoda za rješavanje problematike doktorata naslov je trećeg dijela disertacije. U tom dijelu pregledno su izložene znanstvene metode kojima se može rješavati problematika doktorske disertacije. Kako je svrha znanstvenog menadžmenta donošenje odluka na temelju kvantitativnih metoda, odnosno na temelju matematičkih metoda, postoje dva ključna pristupa: 1. Menadžerske tehnike; 2. Matematičke metode.

Izloženi su modeli za višekriterijsko odlučivanje: analitički hijerarhijski proces (AHP) i analitički mrežni proces (ANP), koji služe kao potpora u donošenju odluka o upravljanju prekrcajnim procesima. U fazi izvršenja odluka definiraju se akcijski plan i kontrolni sustav, pomoću kojih se provodi i kontrolira provedba odluka.

Matematičko programiranje je konceptualni pristup, ali istodobno i skup tehnika i algoritama za definiranje (modeliranje) i rješavanje posebne klase zadataka. Matematičko programiranje istodobno pripada matematici, operacijskim istraživanjima, teoriji upravljanja, sustavnoj analizi i drugim tehničkim znanostima i disciplinama, a po važnosti i opsegu korištenja, svakako je jedan od najznačajnijih alata znanosti i tehnike uopće. Značenje novog metodološkog pristupa teorije općih sustava, primijenjenoga u ovoj disertaciji, na području tehničkih znanosti u rješavanju tehničkih, tehnoloških, organizacijskih i eko-

nomskih problema, ogleda se posebno u: razradi odgovarajućih modela, detaljnih matematičkih opisa proučavanih tehničkih sustava i procesa te u razradi i korištenju matematičkih metoda za postavljanje modela i traženje optimalnih rješenja.

Sadržaj četvrtog dijela s naslovom **Modeliranje lučkog prekrcaja** kao sustava posvećen je općoj teoriji sustava koja navodi odrednice za dinamičku stranu sustava, osim odnosa statika – dinamika i kretanje – razvoj, relevantni su: prostor – vrijeme, kvantiteta – kvaliteta, ekstenzivnost – intenzivnost, pa se ovi odnosi uvažavaju u izlaganju koje slijedi. Osnovna postavka opće teorije sustava, u pogledu odnosa cjeline i dijelova, glasi: Svaki promatrani sustav uvijek je dio nekog većeg sustava, i taj veći sustav obično je sustav višeg reda u odnosu na promatrani sustav, koji, opet, u odnosu na viši, ima rang njegova podsustava. Sustav koji se dalje dijeli na podsustave jest složeni sustav. Od dinamičkih procesa prekrcajni sustav obuhvaća: manipulacije teretom pri iskrcaju (istovar), odnosno ukrcaju (utovar) (brod - kopno, kopno - brod, brod - dizalice - viličari) te relevantnu okolinu (željeznički vagoni, kamioni, viličari, traktorske prikolice – lučko skladište i kupac robe).

Najveća pozornost posvećena je petom dijelu s naslovom **Nužnost policentričnog i hijerarhijskog upravljanja i optimizacije procesa prekrcajnih sustava**. Objasnen je način postavljanja sustava diferencijalnih jednadžbi te su navedene moguće metode njihova rješavanja.

Dinamička ili funkcionalna (operativna) faza područje je u kojemu je znatno teže primijeniti postupak optimizacije u promatranim velikim međusobno povezanim sustavima. Potreba za dinamičkom optimizacijom javlja se zato što se stanje sustava može razlikovati od željenih i prethodno izračunatih uvjeta ustaljenog stanja (statička optimizacija). Fluktuacije u stanju sustava mogu biti posljedice promjena u ulazima sustava, neželjenih poremećaja, varijacija parametara objekta upravljanja, itd. Da bi se vektor stanja sustava vratio na željene, prethodno izračunate vrijednosti, nužna je on-line (izravna) promjena upravljačkih signala.

U skladu s izloženim, kao rješenje problema dinamičke optimizacije sustava s velikim brojem promjenljivih stanja, predviđa se hijerarhija donositelja odluka, pri čemu veći broj donositelja odluka radi paralelno i nezavisno od drugih rješava problem optimizacije svakog podsustava, a računalo na višoj razini, radi osiguranja globalnog optimuma sustava, iterativnim putem koordinira dobivena rješenja lokalne optimizacije podsustava. Takva hijerarhija ima sličnost s hijerarhijama u ljudskom društvu i potekla je iz sličnih razloga, tj. s jedne strane, zbog nesposobnosti bilo kojeg računala da samo riješi problem - što dovodi do decentraliziranog /policentričnog/ rješavanja problema, i s druge strane, što kompleksnost rješavanja problema decentralizacijom zahtijeva uvođenje posebne funkcije koordinacije ili hijerarhizacije upravljanja.

U šestom dijelu disertacije s naslovom **Analitički hijerarhijski proces** analiziraju se čimbenici koji utječu na uspješnost poslovanja, navode pokazatelji, s

posebnim naglaskom na konkurentnost te se istražuju načini poboljšanja procesa donošenja odluka. Analitički hijerarhijski proces spada u klasu metoda za meku optimizaciju. U osnovi, riječ je o specifičnom alatu za formiranje i analizu hijerarhija odlučivanja. AHP najprije omogućuje interaktivno kreiranje hijerarhije problema, kao pripremu scenarija odlučivanja, a zatim vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterija i alternativa) u top-down smjeru. Na kraju, vrši se sinteza svih vrednovanja i, po strogo utvrđenom matematičkom modelu, određuju težinski koeficijenti svih elemenata hijerarhije.

Sedmi dio disertacije naslovom **Teorija igara kao metoda za rješavanje menadžerske problematike u lukama** bavi se razmatranjem lučkog prekrajca metodama teorije igara. Ideja o korištenju teorije igara primijenjenu na problematiku upravljanja prekrajnim procesima utemeljit će se na slučaju igre za dva igrača sume nula. Riječ IGRA odnosi se na bilo kakav konflikt dviju suprotstavljenih strana koji se želi analizirati. To ne mora biti društvena igra, niti sudionici moraju biti osobe, usprkos tome što ih se naziva IGRAČIMA. To je u konkretnom slučaju situacija odnosa brod – luka (prekrajni sustav), ili luka (prekrajni sustav) - transportni sustav. U luku pristižu brodovi iz različitih dijelova svijeta. Sve te brodove potrebno je na određeni način poslužiti (iskrcati ili ukrcati teret, opskrbiti ih gorivom ili hranom, izvršiti remont i sl.). To posluživanje mora biti izvedeno tako da se postignu maksimalni ekonomski učinci. Taj se problem može rješavati i teorijom igara, iako se u principu rješava teorijom redova čekanja. Ograničenje na igre SUME NULA znači da je gubitak prvog igrača (broda) jednak dobitku drugoga (luka - prekrajni sustav), i obrnuto.

METODE DONOŠENJA ODLUKA U PROCESU OPTIMIZACIJE PREKRAJNIH SUSTAVA ZASNOVANE NA UMJETNOJ INTELIGENCIJI NASLOV JE OSMOG DIJELA DISERTACIJE. Najveće promjene u budućnosti izazvat će pojava novih inteligentnih sustava koji će imati ugrađenu sposobnost učenja. Projekt umjetne inteligencije prestao je biti stvar ekskluzivnih laboratorija i polako se širi na posve konkretnu primjenu u druga područja.

Cilj umjetne inteligencije i soft računalstva isti je: izgraditi sustave sposobne za razvijanje ljudskih spoznajnih svojstava i inteligencije (strojna inteligencija). Tehnike soft računalstva (*engl. soft computing*) obrađuju soft vrijednosti (neizvjesnost, nepreciznost, nepotpunost). Umjetna inteligencija proučava zamisli koje omogućuju računalima obavljanje zadataka koji se ljudima čine inteligentnim. To je skup tehnika i metoda koje nastoje: s jedne strane simulirati način rada biološkog mozga i uz pomoć senzora reagirati na okolinu (robotika), s druge strane simboličkim metodama kreirati modele koji omogućuju obradu znanja na temelju pravila (ekspertni sustavi, stabla odlučivanja i dr.) ili izvode inteligentna izračunavanja (neuronske mreže, genetski algoritmi i dr.).

Cilj tog dijela rada je pregled nekih heurističkih algoritama, i njihove primjene. Prvo se daje kratak opis heurističkih algoritama i nabrajaju se moguće podjele metaheurističkih algoritama. Odabire se podjela na algoritme putanje i algoritme zasnovane na populaciji rješenja. Poblizje se opisuju na razini idejnih rješenja: pohlepni algoritam, lokalno pretraživanje, tabu pretraživanje i pretraživanje promjenljivom okolinom. U tom dijelu disertacije govori se o primjeni genetskih algoritama (*engl. genetic algorithms – GA*) za rješavanje problema optimizacije lučkih prekrajnih sustava.

Genetski algoritmi (GA) najpopularnija su vrsta evolucijskih algoritama, a predstavljaju model strojnog učenja čije ponašanje potječe iz procesa evolucije koji se odvija u prirodi. Pored toga, razmatrani su i inteligentni agenti i njihova funkcija u optimizaciji lučkih prekrajnih sustava.

Deveti dio disertacije razmatra **Simulacijsko modeliranje**. U tom dijelu predstavljena je znanstvena metodologija sustavne dinamike i sustavni pristup procesima, simulaciji i modeliranju u prometu te heurističkom modeliranju. Cilj je tog dijela ukazati na mogućnosti koje pruža sustavno dinamičko-simulacijsko modeliranje složenih sustava i procesa. Opisana je heuristička optimizacija, koja se često koristi u sustavnoj dinamici, i prikazani su softverski paketi sustavne dinamike. Analiziraju se rezultati simuliranja različitih scenarija dinamike ponašanja optimiziranog modela koji imaju implementiranu inteligentnu logičku funkciju upravljanja prekrajnim procesom. Definirat će se empirijski model stvarnog lučkog sustava, primjenom dinamičkog modela u konkretnim uvjetima rada morske luke te se daje ocjena valjanosti dobivenih rezultata ponašanja modela.

U **desetom, jedanaestom i dvanaestom** dijelu disertacije razmatrano je istraživanje ponašanja dinamičkog kontinuiranog modela tokova tereta. Analizirani su rezultati simuliranja različitih scenarija dinamike ponašanja optimiziranog modela, koji ima implementiranu inteligentnu logičku funkciju upravljanja prekrajnim procesom. Definiran je empirijski model stvarnog lučkog sustava, primjenom dinamičkog modela u konkretnim uvjetima rada morske luke te je data ocjena valjanosti dobivenih rezultata ponašanja modela.

U **Zaključku**, sintetizirani su rezultati do kojih se došlo znanstvenim instrumentarijem u rješavanju postavljenih zadataka i ostvarivanju osnovnog cilja ove doktorske disertacije, kojim je dokazan cilj istraživanja i postavljena znanstvena hipoteza.

U svom radu pristupnik je dokazao ostvarivanje postavljene višedimenzionalne funkcije cilja ovog rada. Rezultati simulacije pokazuju definirani skup postizanja istraživačko-znanstvenog doprinosa: doprinos u području istraživanja nelinearnih sustava, koristeći se sustavnom dinamikom (SD). Simulacijskom metodologijom, ukazuje na jasno sagledavanje relevantnih uzročno-posljedičnih veza i krugova povratnog djelovanja, eksponencijalnih kašnjenja materijalnih i informacijskih tokova tereta i faktora pojačanja pojedinih varijabli, koje se ne

mogu tako lako uočiti kod klasičnih metoda prognoziranja ponašanja relevantnih varijabli iskrcaja/ukrcaja tereta s broda. Uporabom sustavno-dinamičke simulacijske metodologije, omogućena je izrada baze znanja, tj. poboljšana je osnova za donošenje strateških odluka lučkih menadžera koja će rezultirati kvalitetnim menadžerskim upravljanjem lukom kao cjelinom.

Praktična primjena ovakvog načina planiranja potrebnih prijevoznih i iskrcajnih sredstava, omogućuje djelomično višestruko stručno ponašanje ovog modela, jer osim što uzima u obzir niz ograničavajućih parametara, logički (inteligentno) mijenja i donosi nove odluke tijekom procesa iskrcaja, vodeći strogo računa da pri jednom započetom iskrcaju ne dođe do zaustavljanja.

Provedenim ispitivanjem ove metodologije u luci Šibenik, na iskrcaju broda *Pakrac* i ukrcaju vagona i skladišta, dokazuje se da je ovaj metodološki način istraživanja veoma učinkovit u praktičnoj svakodnevnoj uporabi. Primijenjena znanstveno istraživačka metoda simulacije, u potpunosti opravdava teoretsku, ali i praktičnu primjenu upravljanja prekrcajnim procesima, odnosno lukom kao cjelinom.

Dugogodišnjim istraživačkim radom uz primjenu opsežne literature pristupnik je pokazao vlastiti znanstveni pristup u rješavanju složene problematike lučkog prekrcajnog procesa. Modeli koji su izloženi u ovoj disertaciji, mogu se koristiti kao teorijska podloga za istraživanje sveukupne menadžerske problematike lučkih sustava. Dobiveni rezultati mogu se uspješno koristiti za daljnja znanstvena istraživanja, ali i kao temelj za praktičnu primjenu.

Prof. dr. sc. Čedomir Dundović