



Sveučilište u Zagrebu  
Ekonomski fakultet



# OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA I OPTIMIZACIJA

Specijalistički poslijediplomski studij

Voditelj studija:  
Prof. dr. sc. Luka Neralić

Zagreb, 2012

## OSNOVNE INFORMACIJE O STUDIJU

**1. O operacijskim istraživanjima i optimizaciji.** Operacijska istraživanja (OI) bave se matematičkim modeliranjem realnih procesa u svrhu donošenja optimalnih odluka. Može se reći i da su OI disciplina koja primjenjuje matematičke modele i metode optimizacije, s ciljem da se znanstvenim pristupom rješavanju problema pomogne pri donošenju boljih odluka u upravljanju složenim sustavima. Korištenjem matematičkog modeliranja i optimizacije odgovarajućih modela takvih sustava, OI na temelju raspoloživih podataka omogućuju menadžerima donošenje efikasnijih odluka i izgradnju produktivnijih sustava. Pritom se razmatraju sve raspoložive opcije, pažljivo se predviđaju rezultati i procjenjuje rizik, uz upotrebu najnovijih metoda optimizacije i tehnika za odlučivanje. Naime, organizacije i svijet u kojem one djeluju postaju sve složeniji. Veliki broj mogućnosti izbora u rješavanju određenog problema, s neumoljivim vremenskim pritiskom, čini odluke s kojima se menadžeri susreću još težima i odgovornijima. Osim toga, nove primjene u poduzeću i programska podrška generiraju ogromne količine podataka, pa izgleda gotovo nemoguće pretvoriti raspoložive podatke u rješenje problema. Međutim, svi ti podaci, uz odgovarajuću kompjutorsku podršku, omogućuju donositeljima odluke korištenje prednosti, koje OI i optimizacija imaju pri rješavanju problema u složenim sustavima, s velikim brojem varijabli i ograničenja, te sa znatnim rizicima. OI u praksi zahtijevaju timski rad, te blisku suradnju između donositelja odluke, specijalista iz operacijskih istraživanja i optimizacije, kao i ljudi na koje će donesena odluka djelovati.

Počeci OI datiraju iz vremena 2. svjetskog rata, kad se radilo o raspodjeli ograničenih količina vojnog materijala i ljudi za određene vojne operacije na što efikasniji način. Pritom je veliki broj stručnjaka iz raznih disciplina razvijao i primjenjivao znanstvene metode na

istraživanje vojnih operacija. Smatra se da je uloženi napor znatno smanjio broj žrtava na strani saveznika i da je znatno doprinio njihovoj pobjedi. Nakon rata ubrzo je postalo jasno da se metodologija OI i optimizacije može uspješno primijeniti i u mnogim drugim složenim situacijama, od ekonomskih do inženjerskih problema, i drugdje. Postoji čitav niz ekonomskih problema koji se rješavaju uz pomoć OI i optimizacije, kao npr. određivanje optimalnog proizvodnog programa, optimalno vođenje zaliha, optimalan izbor investicijskog projekta, optimalna alokacija resursa, problem optimalnog transporta, optimalne raspodjele ljudskih resursa na poslove, problem trgovačkog putnika i mnogi drugi. Početkom pedesetih godina prošlog stoljeća modeli OI i metode optimizacije počeli su se primjenjivati i u industriji. Razne metodologije OI postale su posebne znanstvene discipline, kao npr. linearno programiranje, cjelobrojno programiranje, višekriterijsko programiranje, stohastičko programiranje, analiza omeđivanja podataka itd. Danas metode OI zadiru i djelomično se preklapaju s mnogim «klasičnim» područjima, kao što su optimalno upravljanje, teorija aproksimacija, teorija vjerojatnosti, klasična mehanika i računarijacija. Pored matematike OI, koja se bavi proučavanjem i razumijevanjem matematičkih modela, u punom su razvoju i numeričke metode optimizacije. Svoj značaj OI i optimizacija zahvaljuju i fenomenalnom razvoju računarske tehnologije i informatike, što je omogućilo modeliranje i rješavanje realnih problema s velikim brojem podataka. Činjenica je da se danas ekonomski i industrijski razvoj neke zemlje često uspoređuje sa stupnjem razvijenosti OI i računarske tehnologije.

**2. Neke uspješne primjene OI.** Navedimo ukratko samo nekoliko primjera uspješne primjene OI i optimizacije u SAD, o kojima se više detalja može naći na web stranicama Američkog društva za operacijska istraživanja i znanstveno upravljanje INFORMS (The Institut For Operations Research and Management Science)

[www.scienceofbetter.org](http://www.scienceofbetter.org) i [www.orchampions.org](http://www.orchampions.org). Zrakoplovna kompanija «Continental Airlines», uz pomoć tvrtke za OI «CALEB Technologies», razvila je sustav za podršku odlučivanju koji je pomogao u ostvarenju uštede od 40 miliona US \$ u 2001. godini. Veliki lanac trgovačkih kuća «Sears» primijenio je OI u kreiranju sustava za određivanje ruta i rasporeda vozila s ciljem efikasnije dostave, uz godišnje uštede od 42 miliona US \$. Automobilska kompanija «Ford» je uz pomoć OI optimizirala način dizajniranja i testiranja prototipskih vozila s uštedom od 250 miliona US \$. Velika kompanija za dostavu paketa «UPS» primijenila je OI u redizajniranju mreže za dostavu preko noći, s uštedama od 87 miliona USA \$ od 2000. do 2002. godine, uz predviđanje dodatne uštede od 189 miliona US \$ u sljedećoj dekadi. Poznata televizijska kompanija «NBC» primijenila je OI za poboljšanje planova prodaje reklama i povećala prihod za više od 200 miliona US \$. Tu se nalazi i deset razloga za karijeru u OI, od kojih spominjemo mogućnosti rješavanja realnih problema u različitim područjima ljudske djelatnosti, upotrebu vlastitih analitičkih vještina i kreativnosti, uspješnost u donošenju osobnih i profesionalnih odluka, te priliku za stalno učenje i usavršavanje kroz posao. Na web stranici [www.theorsociety.com](http://www.theorsociety.com) Društva za operacijska istraživanja Velike Britanije (Operational Research Society) također se mogu naći razne korisne informacije o OI.

**3. O dosadašnjem PDS «Operacijska istraživanja».** Na Ekonomskom fakultetu Zagreb bio je organiziran dvogodišnji znanstveni PDS «Operacijska istraživanja», u kojem su upisane tri generacije studenata. Iz prve generacije tog studija (1998./1999. – voditelj prof. dr. sc. B. Relić) magistriralo je deset studenata, a iz druge generacije (2001./2002. – voditelj prof. dr. sc. L. Neralić) magistriralo je dvanaest studenata. Treća generacija (2004./2005. – voditelj prof. dr. sc. L. Neralić) ima 17 upisanih studenata, koji polažu ispite i pripremaju se za završetak studija. Iskustvo u izvođenju tog znanstvenog PDS studija

korisno će poslužiti u novom specijalističkom studiju iz operacijskih istraživanja i optimizacije. Osim magistarskih radova na Ekonomskom fakultetu Zagreb obranjen je i veći broj doktorskih disertacija iz OI i optimizacije. O nekim istraživanjima na projektu «Modeli i metode OI u ekonomici i poslovnom odlučivanju» Katedre za matematiku Ekonomskog fakulteta Zagreb može se vidjeti na [www.mmoi.efzg.hr](http://www.mmoi.efzg.hr). Na toj adresi u članku L. Neralić, «The State of Operational Research in the Republic of Croatia», Ekonomski fakultet Zagreb 1997., govori se o stanju teorije i prakse OI u Republici Hrvatskoj u razdoblju 1992. – 1997. Sjedište Hrvatskog društva za operacijska istraživanja (HDOI), osnovanog 21. 3. 1992. godine, nalazi se na Ekonomskom fakultetu Zagreb. HDOI je član udruženja europskih društava za operacijska istraživanja EURO ([www.euro-online.org](http://www.euro-online.org)), koje je osnovano 1975. godine. Zbornici radova s dosadašnjih četrnaest konferencija iz OI, koje je organiziralo HDOI, a posljednjih devet bile su međunarodne, sadrže kako teorijske rezultate, tako i primjene OI u Hrvatskoj i šire, od 1991. do 2012. godine. O posljednjoj 14. konferenciji, održanoj 2012. godine u Trogiru, može se vidjeti na [www.hdoi.hr](http://www.hdoi.hr) što je i službena stranica HDOI-a. Spomenuti magistarski i doktorski radovi, te neki zbornici s konferencija mogu se naći u knjižnici Ekonomskog fakulteta Zagreb.

Na SPDS Operacijska istraživanja i optimizacija upisano je akademske godine 2009./2010. sedam studenata za koje je održana nastava.

**4. Cilj studija.** Modeli operacijskih istraživanja i metode optimizacije sve više se razvijaju i nalaze važne primjene u različitim područjima djelatnosti, od gospodarstva, banaka, osiguravajućih društava, do vojnih primjena. Cilj studija je obrazovanje specijalista (ekonomista, inženjera, matematičara i drugih), koji će na temelju stečenih znanja moći pomoći u donošenju poslovnih odluka, na različitim razinama, od poduzeća do poslovnih banaka i osiguravajućih društava. Na taj način će doprinijeti boljem poslovanju tvrtki, kvalitetnijem donošenju odluka o investicijama na svim razinama, povećanju efikasnosti

proizvodnje i kvalitete proizvoda, te boljoj analizi i predviđanju razvoja gospodarstva. Studij je koncipiran tako da na temelju najnovijih znanstvenih spoznaja razvija sposobnost modeliranja različitih realnih problema i procesa u svrhu donošenja optimalnih odluka. Upotrebom matematičkog modeliranja složenih sustava na temelju raspoloživih podataka olakšava se menadžerima donošenje efikasnijih odluka i izgradnja produktivnijih sustava. Nove primjene u poduzeću i programska podrška za računala omogućuju donositeljima odluka korištenje prednosti koje operacijska istraživanja imaju pri rješavanju problema u složenim sustavima.

**5. Uvjeti za upis na studij.** Na specijalistički poslijediplomski studij OI i optimizacija može se upisati osoba koja ima završen predbolonjski četverogodišnji sveučilišni dodiplomski studij ili završen bolonjski sveučilišni preddiplomski i diplomski studij čijim završetkom se stječe 300 ECTS bodova. Pritom je potrebno imati prosjek ocjena 3,5 ostvaren tokom studija. Ukoliko student ima niži prosjek treba priložiti preporuku dva sveučilišna profesora sa svog fakulteta. Student mora znati barem jedan od svjetskih jezika. Za studente koji nemaju završen ekonomski studij uvedena je razlika ispita, a to su predmeti «Makroekonomija» i «Mikroekonomija», po programima i literaturi preddiplomskog studija na Ekonomskom fakultetu Zagreb. Kao stručni predmeti, neophodni za studij, uzeti su «Matematika» i «Statistika» po programima i literaturi studija na Ekonomskom fakultetu Zagreb. Studenti koji nisu završili ekonomski studij i nisu imali te predmete u studiju, ili su položili samo neki dio gradiva, trebali bi u dogovoru s voditeljem studija, položiti te predmete ili odgovarajuću razliku. Sve razlike ispita potrebno je položiti prije polaganja ispita iz kolegija specijalističkog studija. Studenti koji su diplomirali izvan Republike Hrvatske trebaju obaviti nostrifikaciju svoje diplome u RH i uz materijale prijave priložiti rješenje o nostrifikaciji.

Uz prijavu za upis treba priložiti:

1. Obrazac prijave (dostupan na webu ili u referadi za PDS i doktorate)
2. Diplomu o završenom studiju (ovjerena kopija)
3. Prijepis ocjena
4. Preporuke 2 sveučilišna profesora (ako je prosjek manji od 3,5)
5. Domovnicu - izvornik ili ovjerena preslika (ne starija od šest mjeseci)
6. Izvadak iz matice rođenih - izvornik ili ovjerena preslika (ne stariji od šest mjeseci)
7. Životopis
8. Odluku o plaćanju troškova studija (kandidati kojima školarinu plaća njihova organizacija)

Prijava s priložima može se poslati poštom (preporučeno) ili predati osobno u Referadi za PDS i doktorate.

**6. Režim studija i način izvođenja nastave.** Nastava na studiju traje 2 semestra. Od 10 ponuđenih izbornih predmeta student bira 5. Studenti su obvezni redovito prisustvovati i aktivno sudjelovati u izvođenju nastave, polagati ispite, izrađivati seminare (slučajeve) i izvršavati ostale obveze u skladu s pravilima studija, te napisati i obraniti magistarski rad. Studenti će u obveznim predmetima, kao i u gotovo svim izbornim predmetima, raditi na računalu, koristeći raspoloživu programsku podršku, koja je instalirana na računalima u dvoranama 27 i 28 za Matematiku i Statistiku na Ekonomskom fakultetu Zagreb (kao npr. LINDO, LINGO, WinQSB, OR Tutorial, SAS, View i drugi). U izvođenju programa osim profesora Ekonomskog fakulteta Zagreb sudjeluju profesori Matematičkog odsjeka PMF-a Zagreb, Fakulteta elektrotehnike i računarstva Zagreb, Odjela za ekonomiju i turizam "dr. Mijo Mirković" Pula, Fakulteta organizacije i informatike Varaždin, Ekonomskog fakulteta Split. Po pozivu će u

izvođenju nastave sudjelovati i profesori inozemnih sveučilišta. Osim toga, predviđeno je da pojedine teme predaju istaknuti stručnjaci iz prakse sa završenim magisterijem, koji rade u poznatim uspješnim institucijama i poduzećima u Hrvatskoj.

Nastava će se izvoditi četiri dana u tjednu (ponedjeljak, utorak, srijeda i četvrtak) u poslijepodnevnim satima (od 16,30 do 21,00 sat). U 1. semestru bit će 6 ciklusa po 20 sati, a u 2. semestru 5 ciklusa po 20 sati. Za studente obveznike polaganja ekonomskih i stručnih predmeta organizirat će se predsemestar predavanja od 25 sati za svaki predmet. Obveze za magistriranje su: položiti 4 obvezna predmeta, 5 izbornih predmeta, 2 ekonomska i 2 stručna predmeta (ako je student obveznik za te ispite), izraditi 1 pisani rad (analiza slučaja/seminarski rad) te izraditi i obraniti magistarski rad. Završetkom studija po bolonjskom procesu stječe se akademski naziv sveučilišni specijalist, odnosno sveučilišna specijalistica, operacijskih istraživanja i optimizacije. Cijena studija je 6.000 EUR u kunskoj protuvrijednosti. U cijenu studija uključena je i osnovna literatura. Studenti koji polažu predmete razlike uplaćuju 200 EUR po predmetu. Za navedenu školarinu studenti imaju pravo i obvezu magistrirati u roku od tri godine nakon početka nastave u prvom semestru. Ostali detalji mogu se naći na [www.efzg.unizg.hr/pds](http://www.efzg.unizg.hr/pds) ili dobiti u Referadi za poslijediplomske studije i doktorate, soba 1, telefoni 01/238-3288, 01/238-3218 i 01/238-3219 ili elektronskom poštom na [mpelko@efzg.hr](mailto:mpelko@efzg.hr).



## NASTAVNI PLAN STUDIJA

### *Predsemestar (za studente neekonomiste)*

| Naziv kolegija    | Nositelj kolegija | Broj sati |
|-------------------|-------------------|-----------|
| 1. Makroekonomija | Dr. Z. Kovačević  | 25        |
| 2. Mikroekonomija | Dr. I. Vrankić    | 25        |
| 3. Matematika     | Dr. L. Neralić    | 25        |
| 4. Statistika     | Dr. V. Bahovec    | 25        |

### *I. Semestar*

| Naziv kolegija                               | Nositelj kolegija | Broj sati | ECTS |
|--|-------------------|-----------|------|
| 1. Temeljni modeli operacijskih istraživanja | Dr. Z. Lukač      | 30        | 6    |
| 2. Uvod u optimizaciju                       | Dr. L. Neralić    | 30        | 6    |
| 3. Linearno programiranje                    | Dr. L. Neralić    | 30        | 6    |
| 4. Višekriterijsko odlučivanje               | Dr. T. Hunjak     | 30        | 6    |

**II. Semestar (studenti izabiru i upisuju 5 predmeta)**

| Naziv kolegija                            | Nositelj kolegija         | Broj sati | ECTS |
|---|---------------------------|-----------|------|
| 1. Analiza omeđivanja podataka            | Dr. L. Neralić            | 20        | 4    |
| 2. Diskretna optimizacija                 | Dr. R. Manger             | 20        | 4    |
| 3. Ekspertni sustavi                      | Dr. Bojana Dalbello-Bašić | 20        | 4    |
| 4. Linearni modeli planiranja proizvodnje | Dr. D. Kalpić             | 20        | 4    |
| 5. Makroekonomska analiza                 | Dr. B. Cota               | 20        | 4    |
| 6. Mikroekonomska analiza                 | Dr. I. Vrankić            | 20        | 4    |
| 7. Modeliranje financijskih cijena        | Dr. S. Orsag              | 20        | 4    |
| 8. Primijenjena ekonometrija              | Dr. N. Erjavec            | 20        | 4    |
| 9. Simulacijsko modeliranje               | Dr. M. Pejić-Bach         | 20        | 4    |
| 10. Stohastički procesi                   | Dr. V. Bahovec            | 20        | 4    |

***Ostale obveze na studiju***

|   |      |
|---|------|
|   | ECTS |
| 1. Jedan seminarski rad ili analiza slučaja | 4    |
| 2. Magistarski rad                          | 12   |

## KRATKI NASTAVNI PROGRAMI PREDMETA STUDIJA

### a) Obvezni predmeti

#### 1. TEMELJNI MODELI OPERACIJSKIH ISTRAŽIVANJA

*Doc. dr. sc. Zrinka Lukač*

Uvod u operacijska istraživanja. Višestapni procesi odlučivanja. Problemi optimalnog upravljanja dinamičkim sustavom. Dinamičko programiranje i princip optimalnosti. Modeli proizvodnje i zaliha, modeli raspodjele resursa, modeli zamjene opreme. Model trgovačkog putnika. Mrežno planiranje.

#### 2. UVOD U OPTIMIZACIJU

*Prof. dr. sc. Luka Neralić*

Definicija i klasifikacija optimizacijskih problema. Neki pojmovi i rezultati iz diferencijalnog računa. Kvadratne forme. Konveksni skupovi i konveksne funkcije. Klasična optimizacija. Optimizacija bez ograničenja. Optimizacija s ograničenjima u obliku jednadžbi. Nelinearna optimizacija. Konveksna optimizacija. Uvjeti optimalnosti, neke metode i primjene.

#### 3. LINEARNO PROGRAMIRANJE

*Prof. dr. sc. Luka Neralić*

Pretpostavke linearnog programiranja. Formulacija linearnog modela proizvodnje. Problem transporta, izbora asortimana, investicija i drugih kao problema linearnog programiranja. Analiza modela. Simpleks metoda. Dualitet u linearnom programiranju. Ekonomska interpretacija dualiteta. Analiza osjetljivosti. Problemi velikih dimenzija. Problemi rasporeda proizvodnje na strojeve. Rješavanje

problema korištenjem programske podrške na računalu. Interpretacija rezultata.

#### 4. VIŠEKRITERIJSKO ODLUČIVANJE

*Prof. dr. sc. Zoran Babić*

*Prof. dr. sc. Tihomir Hunjak*

Problem donošenja odluke s nekoliko međusobno konfliktnih ciljeva. Formulacija problema višekriterijskog programiranja. Pojam efikasnog rješenja. Linearno i konveksno višekriterijsko programiranje. Metode za iznalaženje skupa svih efikasnih rješenja. Kompromisno rješenje i metode za njegovo određivanje. Ciljno programiranje. Višekriterijsko rangiranje. Metoda PROMETHEE, metoda ELECTRE, metoda AHP, metoda ZIONTS-WALLENIUS. Sustavi za podršku odlučivanju.

#### b) Izborni predmeti

##### 1. ANALIZA OMEĐIVANJA PODATAKA

*Prof. dr. sc. Valter Boljunčić*

*Prof. dr. sc. Luka Neralić*

Pareto-Koopmansova efikasnost donosioca odluke (DO) u okruženju s više inputa i outputa. Osnovni modeli analize omeđivanja podataka (AOMP) bazirani na matematičkom programiranju i njihovo korištenje u ocjenjivanju efikasnosti. Interpretacija rezultata modela. Modificirani modeli AOMP i neka proširenja. Analiza osjetljivosti i robusnosti DO obzirom na promjene inputa i outputa. Programska potpora u AOMP.

## 2. DISKRETNA OPTIMIZACIJA

*Prof. dr. sc. Robert Manger*

Polinomijalno rješivi problemi diskretne optimizacije: najkraći i najdulji putovi u grafu, minimalna razapinjuća stabla, maksimalni tok u mreži. Primjeri NP-teških problema na grafovima, te NP-teških problema raspoređivanja. Općenite metode za rješavanje problema cjelobrojnog programiranja. Efikasni algoritmi za polinomijalno rješive probleme. Rješavanje NP-teških problema: egzaktni algoritmi, aproksimacijski algoritmi, heuristike.

## 3. EKSPERTNI SUSTAVI

*Prof. dr. sc. Bojana Dalbelo-Bašić*

Što je ekspertni sustav. Tipične primjene. Dijelovi ekspertnog sustava: baza znanja, inferencijski mehanizam, sučelje sa korisnikom. Metode prikaza znanja: produkcijska pravila, stabla odlučivanja, semantičke mreže, objekti i klase. Razvojni ciklus ekspertnih sustava. Alati za razvoj ekspertnih sustava. Neuronske mreže kao zamjena za klasične ekspertne sustave.

## 4. LINEARNI MODELI PLANIRANJA PROIZVODNJE

*Prof. dr. sc. Damir Kalpić*

Odnos realnog svijeta i matematičkog modela. Načela matematičkih modela. Kriteriji za primjenjivost linearnog programiranja. Model proizvodnje. Izbor funkcije cilja. Opis višefazne masovne proizvodnje zasnovan na procesima. Model baze podataka. Višeperiodni model. Kontekstno zavisni varijabilni troškovi. Lociranje razloga za nemoguće rješenje. Interaktivna analiza osjetljivosti. Odlučivanje o investicijama. Primjeri rješavanja na računalu.

## 5. MAKROEKONOMSKA ANALIZA

*Prof. dr. sc. Boris Cota*

Izrada matrice društvenih računa. Definiranje temeljnih makroekonomskih bilanci. Keynesijanska makroekonomija. Monetarna makroekonomija. Modeli ekonomske politike. Modeli unutarnje i eksterne ravnoteže. Modeli rasta.

## 6. MIKROEKONOMSKA ANALIZA

*Doc. dr. sc. Ilko Vrankić*

Ekonomski subjekti. Teorija potrošnje. Teorija poduzeća. Tržišta i blagostanje. Parcijalna ravnoteža. Opća ravnoteža. Društveni izbor i blagostanje. Teorija igara. Ekonomika informacija. Aukcije.

## 7. MODELIRANJE FINACIJSKIH CIJENA

*Prof. dr. sc. Silvije Orsag*

*Prof. dr. sc. Boško Šego*

Preliminarije iz financijske matematike. Markowitzeva portfolio optimizacija. Efikasna granica. Averzija prema riziku. Metode izbora optimalnog portfolia. Teorije tržišta kapitala. Indeksni modeli. Model procjenjivanja kapitalne imovine (CAPM). Arbitražna teorija procjenjivanja (APT).

## 8. PRIMIJENJENA EKONOMETRIJA

*Prof. dr. sc. Nataša Erjavec*

Teorija vjerojatnosti i razdioba, statističko zaključivanje, klasični model višestruke linearne regresije-specifikacije i ocjenjivanje. Izvođenje zaključka i predviđanje. Funkcionalni oblik, nelinearnost i specifikacija. Problemi s podacima. Nelinearni regresijski modeli. Nesferična odstupanja, poopćena regresija i GMM ocjenjivanje

Heteroskedastičnost. Autokorelacijska odstupanja. Modeli za panel podatke. Sustavi regresijskih jednadžbi. Modeli simultanih jednadžbi. Regresije s pomaknutim varijablama. Modeli vremenskih nizova. Modeli s diskretnim ovisnim varijablama. Modeli s ograničenom ovisnom varijablom. Modeli trajanja.

## 9. SIMULACIJSKO MODELIRANJE

*Prof. dr. sc. Mirjana Pejić-Bach*

*Uvod:* što je simulacija, prednosti i nedostaci simulacije, prikaz osnovnih simulacijskih metoda. *Diskretna simulacija:* razvoj modela, grafičke metode konceptualnog modeliranja, prikaz programskih jezika i alata. *Sistemska dinamika:* razumijevanje veze između ponašanja sustava u vremenu i njegove strukture, ponašanje sustava s negativnom i pozitivnom povratnom spregom, primjena programskih alata.

## 10. STOHAŠTIČKI PROCESI

*Prof. dr. sc. Vlasta Bahovec*

Primjeri stohastičkih procesa. Markovljevi procesi i procesi obnavljanja. Markovljevi lanci. Klasifikacija stanja. Konačni Markovljevi lanci. Markovljevi lanci s prebrojivo mnogo stanja. Jednostavni Markovljevi procesi. Markovljevi procesi odlučivanja. Osnovi teorije repova. Neki stohastički procesi zaliha. Analiza vremenskih serija. Stohastički modeli za vremenske serije.

## c) Predmeti koje upisuju neekonomisti

### 1. MAKROEKONOMIJA

*Prof. dr. sc. Zoran Kovačević*

Ekonomija. Mikro i makro ekonomija. Kružni tok gospodarske aktivnosti. Osnovni makroekonomski agregati. GDP-GNP. NI. PDI. Metode mjerenja GDP. Robno tržište. Financijska tržišta. IS-LM model zatvorene privrede. Očekivanja. Otvoreno tržište. IS-LM model otvorene privrede. Tržište rada. Opća ravnoteža. Philipsova krivulja i Okunov zakon. Ekonomski rast.

### 2. MIKROEKONOMIJA

*Prof. dr. sc. Ilko Vrankić*

Suverenost potrošača. Redoslijed preferencija. Funkcija korisnosti. Krivulje indiferencije i preferencije potrošača. Maksimizacija korisnosti. Tržište i interakcija potrošača. Elastčnost. Krivulja potrošnje. Ekonomija blagostanja. Ponašanje proizvođača. Faktori proizvodnje. Proizvodne funkcije. Klasifikacija troškova i profita. Savršena konkurencija. Tržišna krivulja ponude. Profit. Određivanje cijena. Potražnja. Moć monopola. Interakcija strategija. Tržište faktora. Rizični i međuvremenski izbori.

### 3. MATEMATIKA

*Prof. dr. sc. Luka Neralić*

Elementi linearne algebre. Diferencijalni račun funkcija jedne varijable i primjene. Diferencijalni račun funkcija više varijabli i primjene. Integralni račun i dinamička analiza. Financijska matematika.



#### 4. STATISTIKA

*Prof. dr. sc. Vlasta Bahovec*

Uvod. Elementi inferencijalne statistike. Procjenjivanje parametara i testiranje hipoteza. Regresijska i korelacijska analiza. Analiza vremenskih nizova i prognoziranje.

**Za nakladnika:**

*Prof. dr. sc. Tonči Lazibat*  
dekan

**Pripremio i uredio:**

*Prof. dr. sc. Luka Neralić*

**Poslijediplomski specijalistički studij  
OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA I OPTIMIZACIJA**

**Voditelj studija**

Prof. dr. sc. Luka Neralić  
Katedra za matematiku  
Tel.: (01) 2383 366  
Fax: (01) 2335 633  
E-mail: [lneralic@efzg.hr](mailto:lneralic@efzg.hr)  
<http://www.efzg.unizg.hr/lneralic>  
<http://www.mmoi.efzg.hr>

**Tajnik studija**

Karlo Kotarac, dipl. inž. matematike  
Katedra za matematiku  
Tel.: (01) 2383 370  
Fax: (01) 2335 633  
E-mail: [kkotarac@efzg.hr](mailto:kkotarac@efzg.hr)

**Referada za PDS i doktorate**

Martina Pelko  
Voditeljica referade  
Tel.: (01) 2383 288  
Fax: (01) 2335 048  
E-mail: [mpelko@efzg.hr](mailto:mpelko@efzg.hr)