

Predgovor

U master radu, koji je pred Vama, nastojaću da kroz matematički model objasnim jedan od načina finansiranja univerziteta, koji se koristi na američkim i evropskim univerzitetima i da uspostavim paralelu sa načinom finansiranja univerziteta u Novom Sadu, odnosno u Srbiji. Objasnićemo matematičke principe raspodele budžetskih sredstava, kao i preraspodelu budžeta u odnosu na status kvo. Kroz ove modele objasnićemo i koje su to prednosti visokog obrazovanja, faktore koji motivišu zaposlene na univerzitetu da budu što produktivniji, metodologije koje se često koriste prilikom istraživanja ekonomskog uticaja univerziteta na okruženje i slično.

Svojoj mentorki, prof. dr Zorani Lužanin se zahvaljujem na predloženoj temi ovog master rada, koja je za mene bila veoma interesantna i inspirativna. Posebno joj se zahvaljujem na svesrdnoj pomoći, savetima i razumevanju, koje mi je pružila tokom izrade ovog rada, kao i tokom osnovnih i master studija.

Zahvaljujem se svim svojim prijateljima i kolegama, koji su mi na bilo koji način pružili pomoć i podršku tokom mog dosadašnjeg studiranja. Posebno se zahvaljujem svojoj porodici na neizmernoj podršci, razumevanju i ljubavi koju mi pružaju.

Novi Sad, novembar 2011. godine

Jovana Radenović

1. Uvod

U matematičkom modelu finansiranja univerziteta, koji će biti detaljno obrađen u ovom master radu, opisaćemo proces koji objašnjava kako nivo budžeta univerziteta utiče na njegovu produktivnost i kako produktivnost istog utiče na regionalnu industriju. Kroz korišćenje sistema običnih diferencijalnih jednačina i pomoću numeričke simulacije pokazaćemo neke moguće mehanizme pomoću kojih smanjenje budžeta univerziteta može dovesti do smanjenja njegove korisnosti tokom vremena.

Da bismo kreirali matematički model, koji će nam pomoći da razumemo konstantno smanjenje budžeta univerzitetima i posledice koje nastaju, počecemo sa kratkim pregledom poglavlja koja će detaljno biti obrađena u ovom radu. U 2. poglavlju navešćemo neke primere nedavnih smanjenja budžeta univerzitetskom obrazovanju. U poglavlju 3 navešćemo komparativnu analizu finansiranja visokog obrazovanja u Rumuniji, zemlji članice Evropske unije, i Velike Britanije, koja nije njena članica. U 4. poglavlju predstaviceemo pregled istraživanja koja podržavaju činjenicu da aktivan univerzitet pospešuje regionalni ekonomski napredak. U 5. poglavlju opisaćemo samo neke faktore koji utiču na nivo produktivnosti univerziteta. Metodologije i ograničenja postojećih studija o uticaju univerziteta na razvoj ekonomskog rasta u regionu biće objašnjene u 6. poglavlju. Nakon, detaljne analize u pomenutim poglavljem moći ćemo da u 7. poglavlju predstavimo matematičke modele koji će biti izgrađeni na teoriji difuzije inovacija i koji će opisati dinamičku štednju univerziteta. U 8. poglavlju govoriceemo o preraspodeli budžeta među univerzitetima, kao i o primeni preformansi i uspeha zasnovanim na sistemu preraspodele budžeta za nastavu i istraživanje među univerzitetima. O preraspodeli budžeta među univerzitetima u odnosu na status kvo govoriceemo u poglavlju 9. U 10. poglavlju razmotriceemo neke buduće pravce istraživanja.

Ova studija uključiće determinističko matematičko modelovanje sa ciljem da doprinese razumevanje efekata modifikovanja nivoa finansiranja unutrašnjih delova univerzitetske organizacije i posledice ekonomskog uticaja na region. Razviciemo sistem diferencijalnih jednačina baziranih na teoriji difuzije inovacija, da bi model vremenski kontinuiranih efekata bio u interakciji međusobno zavisnih pojava.

Uočićemo da dobro poznat pozitivan efekat univerziteta na ekonomiju regiona može biti ozbiljno ugrožen nepromišljenim smanjenjem budžeta i da će kontinuirano smanjenje finansijskih sredstava univerziteta dovesti do smanjenja koristi za zajednicu. Sa druge strane, naš matematički model pokazuje da zdrava finansijska podrška Vlade univerzitetima može dovesti do značajnog pozitivnog ekonomskog efekta, izazivajući napredak državnih univerzitetskih gradova.

Analizom matematičkog modela uočićemo da dok numerička simulacija rezultata neće ukazivati na to da efekat smanjenja budžeta može značajno narušiti funkcionisanje univerziteta, eksperimenti otkrivaju da potpun uticaj ovih smanjenja ne može biti realizovan decenijama. Slično tome, stabilno povećanje budžeta može pozitivano uticati na univerzitet, ali ti uticaji su posmatrani tokom dužeg vremenskog perioda.

U ovom radu obradićemo i matematičke modele za preraspodelu budžeta među univerzitetima, baziranu na ciljnom programiranju i rastojanju normi, kao i preraspodelu budžeta među univerzitetima u odnosu na status kvo. U okviru preraspodele budžeta u odnosu na status kvo formulisaćemo tri modela sa ciljem što boljeg poštovanja istog, koji će biti bazirani na linearnim i kvadratnim funkcijama cilja.

2. Smanjenja budžeta u visokom obrazovnju

2.1 Univerziteti u Sjedinjenim Američkim Državama i Srbiji

Vlade širom sveta drastično smanjuju finansiranje javnog obrazovanja i povećavaju školarine na univerzitetima. Te mere su često formulisane kao odgovor na tekuću ekonomsku krizu, ali zapravo njihova primena je počela davno pre toga.

Visokoškolske ustanove se dele na ustanove univerzitetskog i neuniverzitetskog obrazovanja. U Sjedinjenim Američkim Državama postoji preko 4000 institucija visokog obrazovanja. Finansiranje javnog obrazovanja u pomenutim zemljama u poslednjih pedeset godina beleži značajno smanjenje.

Državnih univerziteta u Srbiji ima 7, u okviru kojih je 86 fakulteta. Privatnih univerziteta ima 7, sa 44 fakulteta, dok 5 privatnih fakulteta nisu u sastavu univerziteta. U toku 2007. godine završen je proces akreditacije za dotadašnje više škole. Ukupan broj ustanova neuniverzitetskog obrazovanja u Srbiji, koje su dobile Uverenje o akreditaciji je 49, dok je jedna viša škola dobila akreditaciju za fakultet. Od ukupnog broja akreditovanih visokih škola, 42 su državne, a 7 privatne.

Prema podacima iz Statističkog godišnjaka Srbije iz 2011. godine, ukupan broj nastavnika na svim institucijama visokog obrazovanja u Srbiji, u školskoj 2009/2010 godini, bio je 9.317, saradnika u nastavi bilo je 5.495, a redovnih studenata bilo je 226.772¹.

Današnji sistem finansiranja visokog obrazovanja u Srbiji razvija se od početka devedesetih. Na današnji sistem finansiranja visokog obrazovanja uticali su sledeći izazovi sa kojima je država bila suočena:

- porast nezaposlenosti,
- povećanje potrebe za visokim obrazovanjem,
- nedostatak sredstava za visoko obrazovanje.

Prve strukturne promene dogodile su se 1992. godine uvođenjem nove kategorije studenata koji su prinuđeni da sufinansiraju svoje studije, a sadašnji sistem datira iz 2002. godine kada je kategorija sufinansiranih studenata napuštena izmenom zakona (Zakon o

¹ http://webzrzs.stat.gov.rs/WebSite/repository/documents/00/00/47/37/05_Obrazovanje.pdf

univerzitetu 2002). Poslednja promana regulative, u vidu novog Zakona o visokom obrazovanju dogodila se 2005. godine (Zakon o visokom obrazovanju, 2005) i uvela novu dinamiku studiranja i, formalno, novi oblik javnog finansiranja visokog obrazovanja, kroz pregovore između institucija i države.²

U daljem radu navešćemo primer jednog od mnogobrojnih univerziteta u Sjedinjenim Američkim Državama koji je doživeo brojna smanjenje državnog finansiranja.

Primer 1: Od ranih 1970-tih godina, Univerzitet na Havajima je pretrpeo mnogobrojna zamrzavanja i smanjenja budžeta. Često su zaposleni otpušteni, a da se nisu pritom zapošljavali novi radnici i kao posledica toga usluge univerziteta su se značajno smanjivale. Takođe, od aprila 2000. godine Univerzitet na Havajima nastavlja da radi sa smanjenjem budžeta.³

Situacija na pomenutom univerzitetu nije jedinstvena, kroz dokumentovanje dešavanja u period od oko tri decenije, u oblasti visokog obrazovanja, uočen je značajan nivo opadanja u pogledu državnog finansiranja po upisanom studentu, povećanje školarine kao i upisa u nivou većem od stope inflacije. Kreatori političkih dešavanja priznaju da prisustvo univerziteta donosi ekonomske i društvene koristi, ali ipak političke odluke često odražavaju pretpostavke da se budžet univerzitetima treba smanjiti bez sagledanja posledica, koje takve odluke sa sobom nose. Fakulteti i univerziteti u Sjedinjenim Američkim Državama pokušavaju da obrazuju više studenata sa relativno manje resursa nego ikada ranije. Ako se trenutni trend upisa studenata na fakultete nastavi i ako se školarina poveća po odgovarajućoj stopi inflacije, procenjuje se da će do 2015. godine državni fakulteti i univerziteti imati operativni deficit u vrednosti od 38 milijardi dolara.⁴

Kada je državni budžet preopterećen i u deficitu, izvršna vlast prvo razmatra mogućnost smanjenja budžeta visokom obrazovanju. Čak i u vreme ekonomskog prosperiteta sredstva izdvojena za visoko obrazovanje nastoje da budu smanjena. Na primer, u Kaliforniji su sredstva namenjena visokom obrazovanju činila 10% državnog budžeta, ali u period od 1996. do 1997. godine državni budžet Kalifornije je izdvojio više novca za korekcije državnih uprava (9,4%), nego za visoko obrazovanje (8,7%). Napomenućemo da je od 1984. godine, kalifornijsko odeljenje za korekcije državnih uprava zaposlilo 25.864 ljudi, uz istovremeno smanjenje broja zaposlenih u institucijama visokog obrazovanja.

U pokušaju da se odgovori na zahtev povećane odgovornosti prema budžetu visokog obrazovanja, čak i prestižne institucije su pribegle opravdanju njihove egzistencije kroz studije

² M. Vukasović, M. Babin, V. Ivošević, P. Lažetić, K. Miklavić, Finansiranje visokog obrazovanja u Jugoistočnoj Evropi: Albanija, Crna Gora, Hrvatska, Slovenija, Srbija, Centar obrazovne politike i Univerzitet u Novom Pazaru, Beograd 2009.

³ J. Dator, UH can be good, but not grate, *Honolulu Star Bulletin* (1999, Saturday, January 23); *In Special to the Star Bulletin*. Available: <http://starbulletin.com/1999/01/23/editorial/special.html>

⁴ T.J. Ambrosio and V. Schiraldi, *From Classrooms to Cell Blocks: A National Perspective*, Justice Policy Institute, 1997

uticaja univerziteta na region. Te studije obično pokazuju da postojanje univerziteta u regionu ima veću korist nego njegovo zatvaranje. Međutim ove studije se ne bave važnim pitanjima, kao što je smanjenje budžeta. Treba imati na umu da adekvatno finansiran sistem visokog obrazovanja daje mnogo prednosti njegovim direktnim korisnicama i državi u celini. Tvrdimo da će se smanjivanjem sredstava, kojima država finansira univerzitete i fakultete, smanjiti pozitivan uticaj koji ove institucije imaju na region. Jednostavno, nije dovoljno samo da u regionu postoji univerzitet ili fakultet, jer institucija kojoj nedostaju sredstva za obavljanje njene primarne delatnosti će na kraju prestati da reflektuje pozitivan uticaj na lokalnu ekonomiju.

Međunarodno iskustvo je pokazalo da državno finansiranje visokog obrazovanja da bi ispunjavalo sve zahteve, koji su najčešće mešoviti, treba da sadrži:

- jezgro finansiranja, budžetska sredstva, obezbeđen pristup obrazovanju i kvalitet nastave,
- dodatna sredstva dobijena sopstvenim naporima institucije i resursa.⁵

U poglavlju koje sledi u cilju pronalaženja raznolikosti modela finansiranja visokog obrazovanja u evropskim zemljama predstavimo komparativnu analizu između modela finansiranja obrazovanja u Rumuniji i Velikoj Britaniji.

⁵ N. Todea, D. M. Tilea, N. Todea, D. M. Tilea: Comparative analysis between the models for financing of education in Romania and the United Kingdom, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Volume 15, 2011. p. 717–721

3. Komparativna analiza

Ukoliko Evropa cilja na jednu veoma konkurentnu ekonomiju znanja, onda primarno treba da razmotri otvaranje i proširivanje mogućnosti u pogledu visokog obrazovanja. Međutim, otvaranje visokog obrazovanja je takođe i pitanje izgradnje građanstva i jačanja demokratskog razvoja, što podrazumeva razmatranje jednakih mogućnosti za sve koji su za to zainteresovani, a kao glavni pravac politike i kao strateško pitanje.

Razvoj događaja koji je od elitnog doveo do masovnog visokog obrazovanja pokrenut je šezdesetih godina dvadesetog veka u Sjedinjenim Američkim Državama, a zatim je silovito nastavljen u različitim evropskim zemljama. U Evropi visoko obrazovanje se od elitnih institucija razvilo u raznovrsne masovne sisteme u sklopu procesa koje uglavnom pokreću ekonomski faktori, uz dodavanje novih sektora već postojećim renomiranim univerzitetima.

Svaka debata o pitanju jednakosti u visokom obrazovanju zahteva pažljivo razmatranje razvoja situacije u oblasti visokog obrazovanja tokom proteklih četrdeset godina. Zapravo, premda se čini da Bolonjski proces, Evropski prostor visokog obrazovanja i Evropski istraživački prostor predstavljaju dominantne teme u mnogim evropskim zemljama. Premalo pažnje se poklanja putevima koji su doveli do postojećih sistema i što je još značajnije pitanju vrste sistema i institucija koje će biti adekvatnije za budući razvoj.⁶

Znanja o organizaciji i finansiranju obrazovanja u većini velikih evropskih zemalja kao i način za bolje razumevanje napretka postignutog tokom tranzicije i upustva treba slediti kako bi se postigli evropski standardi i kompatibilnosti našeg sistema sa evropskim sistemom visokog obrazovanja. Iz tih razloga navešćemo komparativnu analizu finansiranja visokog obrazovanja u Rumuniji, zemlji članice Evropske unije, i Velike Britanije, koja nije njena članica.

3.1 Sistem finansiranja obrazovanja u Rumuniji

Osnovi zakon o organizaciji i finansiranju obrazovanja u Rumuniji je Zakon o obrazovanju broj 84/1995, objavljivan sa izmenama i dopunama. Po ovom zakonu, obrazovanje u Rumuniji je organizovano u sledećim nivoima: predškolsko obrazovanje, osnovno obrazovanje, srednje obrazovanje, srednje i stručno obrazovanje, umetničko i zanatsko

⁶Luk Veber, *Sjur Bergan, Javna odgovornost za visoko obrazovanje i istraživački rad, Savet Evrope, april 2005*

obrazovanje, visoko obrazovanje (univerzitetske i postdiplomske studije). Svi nivoi obrazovanja koji se stižu na univerzitetima ubrajaju se u visoko obrazovanje. Pomenutim Zakonom o obrazovanju utvrđeno je da državno obrazovanje, to jest njegovo finansiranje iz javnih fondova treba da čini 6% bruto društvenog proizvoda (BDP).

U Srbiji prema Zakonu o obrazovanju iz 2066. godine utvrđeno je da obrazovanje obuhvata četiri nivoa: predškolsko, osnovno, srednje, više i visoko obrazovanje. Učešće pojedinih nivoa ustalilo se poslednjih godina, tako da u osnovnom obrazovanju učestvuje 54%, srednjem 25% i visokom 21% učenika – studenata, što je zabeleženo u školskoj 2009/2010 godini.

Kada podešavamo nivoe javne potrošnje na obrazovanje i izveštavanja o bruto društvenom proizvodu na godišnjem nivou posmatramo sledeće izvore finansiranja: budžet države, lokalni budžet, priliv stranih kredita, sredstva za osiguranje nezaposlenosti, spoljašnje donacije i sopstveni prihodi ustanova i obrazovnih institucija.

Troškovi institucija visokog obrazovanja i drugih jedinica određenih od strane Ministarstva obrazovanja, omladine i istraživanja (školska inspekcija, vaspitači, mesta i klubovi za decu i studente, sportski klubovi, biblioteke, univerzitetski sportski klubovi i druge jedinice sa specifičnim aktivnostima iz oblasti obrazovanja kao što je Nacionalna agencija za programe evropske unije u oblasti obrazovanja i obuka, Institut za obrazovne nauke i tako dalje) se finansiraju iz državnih fondova.

Obrazovne aktivnosti u okviru nadležnosti drugih ministarstava su takođe finansirane iz državnog budžeta, ali oni imaju manju važnost. Vlada usvaja odredbe za upis u državne srednje škole i na visokoobrazovne institucije za određenu školsku godinu. Dakle, Vlada formira fiksne iznose školarina uzimajući pritom u obzir sledeće dve komponente. S jedne strane, rezultate dobijene iz saradnje sa institucijama koje se bave socijalnim pitanjima zajednice i sa druge strane detaljan plan rada za razvoj obrazovanja i sistema obuke u Evropskoj uniji između 2010. i 2011. godine čiji se svi prioriteti u obrazovanju odnose na obrazovanje, stručno osposobljavanje i univerzitetsko obrazovanje. Kao članica Evropske Unije, Rumunija je prirodno povezana sa najvažnijim evropskim trendovima u pogledu obrazovanja. U isto vreme, Vlada Rumunije je uzela u obzir nacionalne trenove u pogledu postavljanja socijalnih, ekonomskih i upisnih kvota, a u skladu sa prognozama vezanim za zapošljavanje u regionu, koji je u razvoju.

Zakonskim aktom koji donosi, Vlada obezbeđuje uslove pristupačnosti obrazovanju za mlade, građane evropskih zemalja, pod sličnim uslovima koje imaju mladi iz Rumunije u inostranstvu. U akademskoj školskoj 2009/2010 godini studenti rumunskog porekla u Republici

Moldaviji, susednim zemljama i inostranstvu dobli su ukupno 1.650 mesta za studiranje na državnim univerzitetima.

Visokoobrazovne institucije, univerziteti, su javne ili privatne neprofitne, apolitične institucije koje promovišu obrazovanje i istraživanje kao javno dobro. Univerziteti imaju misiju stvaranja, prenošenja i korišćenja znanja. U tom smislu, oni promovišu učenje, nastavu, istraživanje i kreativnost u nauci, tehnologiji, umetnosti i sportu, dajući doprinos ljudskom znanju i kulturi kako bi se osigurao lični razvoj zajednice, kao korisnika, i dobrobiti društva. U obrazovanju, univerziteti nude kvalifikovanu i kompetentnu radnu snagu. Od 1. januara 1999. godine finansiranje javnih visokoobrazovnih ustanova u Rumuniji vrši se na osnovu člana broj 171. Zakona o visokom obrazovanju, stav 84/1995, sa izmenama i dopunama, i na osnovu ugovora potpisanog između Ministarstva za obrazovanje i istraživanje, Ministarstva omladine i sporta i dotične visokoškolske ustanove na sledeći način, to jest potpisivanjem sledećih ugovora:

- Ugovor za finansiranje institucionalnih osnova za stipendiju i socijalnu zaštitu studenata i za finansiranje ciljeva po pitanju investicija;
- Ugovor za finansiranje dodatnih: univerzitetskih istraživanja, popravke objekata i drugih kapitalnih izdataka, kao i subvencija za stanovanje i hranu. Iznosi potrebni za univerzitetska istraživanja dopunjuju sadržine u ugovoru, povećanje iznosa je izuzetak od pravila, a vrši se na osnovu aneksa ugovora vezanih za to konkretno istraživanje.

Kriterijumi za utvrđivanje finansiranja javnih visokoškolskih institucija iz sredstava državnog budžeta ustanovljeni su od strane Ministarstva prosvete, omladine i sporta, uzimajući u obzir predloge Nacionalnog saveta za istraživanje finansiranja visokog obrazovanja (NSFVO) i Nacionalnog saveta za univerzitetsko istraživanje (NSUI).

Jesgro finansiranja je stvoreno od strane Ministarstva prosvete, omladine i sporta u cilju obezbeđivanja normalnog razvoja obrazovnog procesa na osnovnom i postdiplomskom nivou studiranja, a u skladu sa nacionalnim standardima. Sredstva namenjena za stipendiranje i socijalnu zaštitu studenata ogledaju se u institucionalnom sporazumu i dodeljuju se prema broju studenata doktorskih studija sa punim radnim vremenom, koji ne plaćaju školarinu. Finansijska sredstva dodeljuju se na osnovu menadžerske strategije, a napomenućemo da državne institucije visokog obrazovanja svoje budžete popunjavaju i vanbudžetskim sredstvima.

Od 2002. godine metodologija za dodelu budžetskih sredstava obrazovanju, namenjenih za osnovno finansiranje, dopunjena je kvalitativim komponentama i stalno ažurirana tokom perioda od 2003. do 2007. godine.

U skladu sa podacima, preuzetih iz baze Ministarstva obrazovanja, za evoluciju jezgra finansiranja za period od 1998. do 2007. godine, imamo sledeću analizu podataka, gde smo akcenat stavili na 2006. i 2007. godinu:

- Udeo ukupnih sredstava dodeljenih za obrazovanje iz BDP: 4,79% (2006), 4,96% (2007)
- Udeo sredstava dodeljenih za visoko obrazovanje u ukupnom BDP: 0,67% (2006), 0,68% (2007)
- Udeo sredstava dodeljenih za jezgro finansiranja od BDP: 0,34% (2006), 0,39% (2007)

Predstavnici visokog obrazovanja, ministri i akademici, zalagali su se za ideju da Rumunija postane deo Evropske unije, odnosno Rumuniji je to postao nacionalni prioritet već od juna 1993. godine kada je poslala prijavu za članstvo u Evropskoj uniji. To je veoma jasno i opravdano, jer treba posmatrati performanse visokog obrazovanja u perioda od 2004. do 2008. godine, gde je BDP namenjen visokom obrazovanju značajno porastao na čak 6% u 2008. godini, u poređenju sa 3,4% BDP iz 2004. godine. Rumunija je postala članica Evropske unije 1. januara 2007. godine.

U privatnom obrazovanju, finansijska sredstva iz državnih sredstava su samo dodatak, tako da je u ovom slučaju računovodstvo fleksibilnije i efikasnije.

Administraciju vanbudžetskih sredstava i njihovu upotrebu obezbeđuje svaka institucija visokog obrazovanja na osnovu prihoda i rashoda budžeta, pripremljenim pod uslovima ravnoteže i u skladu sa kriterijumima utvrđenim od strane Ministarstva, omladine i sporta i uz njegovu saglasnost.

Prihodi i rashodi obuhvataju finansijska sredstva za postizanje ciljeva strateškog plana svake institucije visokog obrazovanja tokom određene finansijske godine. Vanbudžetska sredstva institucija visokog obrazovanja sastoje se od:

- Sopstvenih prihoda koji potiču od naknada i aktivnosti institucija visokog obrazovanja. Prihodi od naknada i aktivnosti institucija visokog obrazovanja podrazumevaju takse određene po zakonu za fizička i pravna lica, rumunskih i stranih državljana, od prodaje kurseva ili neperiodičnih publikacija, prihodi od usluga, prihodi od umetničkih manifestacija i davanja u zakup sportskih objekata za svrhe saradnje na projektima koji se ne finansiraju od strane Ministarstva prosvete, omladine, sporta i istraživanja i mnogi drugi prihodi;
- Drugi sopstveni prihodi: donacije, stipendije i drugi grantovi;
- Prihodi od naučnih istraživanja, dizajna i konsaltinga, koji funkcionišu na principima državnih obveznica. Takvi prihodi mogu da potiču od ugovorenih istraživanja

zaključenih sa pravnim licima (preduzeća, Nacionalna uprava za naučna istraživanja i druga pravna lica);

- Prihodi od oglednih obrazovnih aktivnosti stanica, botaničkih bašta, specijalizovanih centara za obuku, izdavača, a koji funkcionišu na principima državnih obveznica;
- Prihodi od studentskih domova i kantina, uključujući: prihode od usluga i prodavanje hrane u kantinama, prihodi od davanja prostora u zakup i drugih sopstveni prihodi.

Prihodi i rashodi budžeta institucija visokog obrazovanja su svrstani u sledeće kategorije troškova, prema vrstama finansiranja, kao što sledi:

- Jezgro finansiranja iznosa potrebnog za pokriće prosečnih troškova obuke i obrazovanja koji se odnose na: lične troškove zaposlenih (plate, nezaposlenost, zdravstveno osiguranje, putovanja u zemlji i inostranstvu) i troškove za materijal i usluge, u skladu sa zakonom;
- Izdaci za dodatna sredstva, koja su obezbeđena iz državnog budžeta, namenjena za prenosnu opremu i druge kapitalne izdatake, popravke i pokrivanje troškova koji se odnose na univerzitetska naučna istraživanja kao i da se pokrije deo troškova održavanja studentskih domova i restorana;
- Potrošnja na stipendije i socijalnu zaštitu studenata, čiji su iznosi izdvojeni iz državnog budžeta;
- Izdaci za postizanje ciljeva koji su finansirani od strane države;
- Rashodi iz spoljašnjih izvora, krediti i grantovi za projekte i finansiranja iz državnog budžeta za projekte, koji predstavljaju doprinos Vlade tim projektima;
- Troškovi iz sopstvenih prihoda, datih u skladu sa Zakonom o obrazovanju broj 84/1995, objavljivan sa kasnijim izmenama.

Završna raspodela novca iz državnog budžet, visokoškolskim ustanovama se određuje jednom godišnje u okviru budžetskih aproprijacija odobrenih od strane Ministarstva prosvete, omladine i istraživanja, a u skladu sa Zakonom o budžetu za tekuću godinu. Na osnovu ovoga Ministarstvo donosi godišnji budžet prihoda i rashoda za institucije visokog obrazovanja.

Za vanbudžetske aktivnosti priprema se poseban budžet za prihode i rashode, koji se prilaže zajedno sa redovnim prihodima i rashodima institucije i odobrava se od strane Senata univerziteta.

3.2 Razvoj finansiranja obrazovanja u Velikoj Britaniji

Za razliku od univerzitetskog sistema na kontinetu, Evropi, britanski sistem finansiranja obrazovanja je rođen i razvija se na nivou koji je potpuno izvan državnog sistema. Tako su univerziteti Oksford i Kembridž osnovani pod pokriviteljstvom crkve i finansirani su od strane donacija i administrativnih taksi, do dvadesetog veka. Urbani univerziteti u devetnaestom veku

su finansirani iz lokalnih i privatnih izvora, dok je samo u dvadesetom veku britanska Vlada intervenisala u finansiranju visokog obrazovanja. Između dva svetska rata, britanska Vlada je preuzela tekuće rashode i kapital i oko 90% univerzitetskog budžeta. Sa finansijske tačke gledišta nacionalizacija je bila kompletna, zavisnost od jednog izvora finansiranja je bila široko rasprostranjena. Posle 1980. godine ova zavisnost je postala jasno vidljiva, iz prethodnih decenija, i suočava se sa ograničenjima univerzitetskog finansiranja, ali na kraju decenije Vlada će finansirati sve veći i veći broj istraživanja.

Svi univerziteti u Velikoj Britaniji su pravno zavisni, pripadaju sektorima privatnih institucija sa dobrotvornim statusom (neprofitna društva). Nema direktne podrške od strane državnih ministarstava i univerziteti rade sa sistemom velikih budžetskih ograničenja. Tako da ukoliko univerzitet pokazuje deficit mora da se reaguje hitno kako bi se izbeglo da postane nesolventan. Takođe, institucija ne sme da ostvari budžetski deficit u dve uzastopne godine, koji prelazi prag veći od 5% svojih ukupnih prihoda, ili 2.000.000 funti, kao i da taj deficit ne bude ostatak raspoloživih rezervi. Za dugoročne kredite koji su veći od 4% godišnjih prihoda institucije (plus kamata), univerzitet mora biti slobodan da se zadužuje na privatnom tržištu, ali mora imati i argumenaciju da je sposoban da isplati svoje zaduživanje.

Oko 45% od ukupnog univerzitetskog prihoda dolazi od fonda Engleski savet za finansiranje visokog obrazovanja (English Higher Education Financing Council England - HEFCE) i od Ministarstva za rad, obrazovanje i zapošljavanje. Univerziteti su ti koji ulaze u ugovorno finansiranje sa HEFCE.

3.3 Zaključak komparativne analize

Generalni zaključak koji proizilazi iz komparativne analize finansiranja, jeste činjenica da ne postoji idealan model finansiranja, već da raznolikost i kompleksnost fenomena karakteriše sistem finansiranja visokog obrazovanja.

Odgovor na pitanje koja je istina u današnjem načinu finansiranja visokog obrazovanja može biti objašnjen kao mešovito finansiranje sa nepravednom raspodelom doprinosa javnih i privatnih „poreskih obveznika“, odakle sledi udeo izdvajanja privatnih sektora za finansiranje visokog obrazovanja. Postoji širok spektar metoda za utvrđivanje raspodele sredstava iz budžetskih sredstava institucijama visokog obrazovanja, gde se na osnovu kvalitativnih i kvantitativnih kriterijuma povećava udeo prihoda privatnog sektora u ukupnom prihodu institucije, gde dolazi posebno do naplate naknada za usluge univerziteta.

4. Pogodnosti koje pruža visoko obrazovanje

Obrazovanje je davno priznato kao pružanje koristi za pojedinca, koji se obrazuje, za društvo u celini i ekonomski napredak države. 1776. godine Smit je posvetio veći deo svojih misli ulozi obrazovanja u društvu i zaključio da novac potrošen na obrazovanje “bez sumnje je koristan za celo društvo.” U 19. veku ekonomski udžbenik objavio je sledeće: “Možemo zaključiti da se mudrost trošenja javnih i privatnih fondova na obrazovanje ne meri samo po direktnim plodovima. To će biti profitabilno, kao investicija, i omogućiti velikom broju ljudi mnogo veće mogućnosti, nego što oni generalno sebi mogu da priušte.”⁷

Postoje primeri univerziteta u Evropi koji su osnovani sa ciljem jačanja regionalnog razvoja. Primeri su Univerzitet u Tventu, blizu industrijske oblasti Tvent, Univerzitet u Limburgu, u Mastroihu, Univerzitet u Trieru, Nemačka i Kolabrija, Italija, Univerzitet Umeb i Univerzitet Luled u Švedskoj.

4.1 Empirijski dokazi za pozitivan uticaj obrazovanja

Poboljšanje obrazovnog sistema u zemlji i regionu pokazalo je da daje razne ekonomske i socijalne koristi. Korist od obrazovanja tokom života imaju prvenstveno njegovi direktni primaoci, ali preko njih obrazovanje pruža određene beneficije društvu u celini.

Obrazovanje je priznato kao ključni deo ekonomskog razvoja, posebno u zemljama u razvoju. Na primer, u studiji poređenja 30 kineskih provincija utvrđeno je da provincije s većom stopom pismenosti i većom srednjom ocenom godina školovanja stanovništva su beležile brže smanjenje, izraženo u procentima, broja ljudi zaposlenih u poljoprivredi nego provincije sa nižom stopom pismenosti i nižom srednjom ocenom godina školovanja. U ovoj studiji uzročnost ide od obrazovanja do ekonomskog razvoja. Naime, u provincijama sa većim srednjim brojem godina školovanja, u prvoj godini, ostvaren je veći stepen bruto društvenog proizvoda (BDP), po glavi stanovnika, nego u narednoj godini.⁸

Nekoliko studija ukazuju na to da kultivacija ljudskog kapitala je važan činilac ekonomskog rasta. Ljudski kapital je pomogao da se objasni održivi ekonomski rasta u istočno azijskim zemljama. U pomenutim studijama ekonomski modeli, koji su koristili samo

⁷ R. Florax, *The University: A Regional Booster? Economic Impact of Academy Knowledge Infrastructure*, Ashgate Publishing Company, Brookfield, VT, (1992); A.Smit, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, (Edit by R.H. Campbell and A.S. Skinner), Originally published 1776, Liberty Classics, (1981)

⁸ S. Lin, Education and economic development: Evidence from China, *Comparative Econ. Studies* 3/4, 66-86, (Fall-Winter 1997)

promenljive fizičkog ulaganja, dali su lošija objašnjenja ekonomskog rasta nego kada su uključili i ljudski kapital.

4.2 Prednosti univerzitetskog nivoa obrazovanja

Uopšteno, nije samo obrazovanje korisno za regionalni razvoj, ali visoko obrazovanje je u osnovi uvedeno da bi bilo važan pokretač ekonomskog razvoja. Javne investicije u univerzitetski nivo obrazovanja i istraživanja su se pokazala veoma korisnim za ekonomski rast. Univerzitetsko obrazovanje je i uvedeno da bude mnogo značajnije, u tom pogledu, u odnosu na osnovnoškolsko i srednjoškolsko obrazovanje.

Društvena stopa prinosa, koja se dobija od visokog obrazovanja je empirijski procenjena na oko 12% za privatni sektor i 9% za društveni sektor, za napredne ekonomije. Ista istraživanja sprovedena u Holandiji su takođe dala pozitivne rezultate, ali sa nešto nižim procentnim vrednostima, 5,6% za privatni sektor i 7,3% za društveni sektor.

Može se tvrditi, da se društvena stopa prinosa od visokog obrazovanja može objasniti principom selekcije pristrasnosti, koji glasi: najsposobniji građani u regionu su izabrani da dobiju diplomu fakulteta, međutim od njihovih aktivnosti region bi doživeo ekonomsk razvoj, nezavisno od toga da li oni imaju fakultetsku diploma ili ne. U studijama koje su pokušale da istraže ovu mogućnost rezultati primene selekcije pristrasnosti su se pokazali veoma lošim. Istraživanja o selekciji pristrasnosti koriste različite metode.

4.3 Pokazatelji uticaja univerzitetskog nivoa obrazovanja na ekonomiju

Do danas ne postoji sveobuhvatni model veze između društvenih institucija i ekonomskog razvoja, ali individualne studije pokazuju da prisustvo aktivnog i efektivnog univerziteta koristi zajednici na različite načine.

4.3.1 Proširenje ponude ljudskog kapitala

Mnogi naučnici tvrde da je ljudski kapital jedan od glavnih faktora ekonomskog rasta. Model ljudskog kapitala smatra da obrazovne institucije pružaju studentima znanja i veštine koje imaju svoje vrednosti. Student žrtvuje vreme i tekuće prihode u cilju dobijanja veće nagrade u budućnosti. U najužem tumačenju ovog modela, znanja i veštine stečene u formalnom obrazovanju doneće veću zaradu. Ova definicija je jednostavna za korišćenje jer je merljiva, ali se korist od obrazovanja može dodatno proširiti. Sposobnost, na primer, da cenimo književnost može da poboljša način života na nematerijalan način.

U skladu sa širim tumačenjem teorije ljudskog kapitala, postoje dokazi da obrazovanje daje i druge nematerijalne prednosti. Druge beneficije uključuju prenos kulturnih vrednosti, više inteligentno izbornu ponašanje i smanjenje predispozicija za kriminalističko ponašanje.

Univerzitet ne samo da proizvodi znanje već daje kratkoročne i dugoročne koristi, po osnovu zapošljavanja kadrova i vaspitanju studenata, koji će kasnije uživati veću zaradu.

Prisustvo kvalifikovanih, obučanih radnika, kao što su diplomirani studenti, čini da se podigne ukupna regionalna produktivnost. Prisustvo univerziteta povećava ukupnu produktivnost zajedno sa podizanjem nivoa tehnologije koja se koristi. Utvrđeno je da pojedinačan radnik ima veću tendenciju ka povećanju produktivnosti kada radi u okruženju visokokvalifikovanih ljudi, nego kada radi u okruženju nižekvalifikovanih.

4.3.2 Uticaj univerziteta na region

Univerzitet unapređuje tehničke veštine, radne navike kao i određene socijalne veštine njegovih korisnika. Istraživanja koja se sprovode na univerzitetu mogu da podstaknu investicije u regionu, koje će uticati na ekonomski rast. U Švedskoj je, na primer, utvrđeno da regionalna proizvodnja treba da bude funkcija regionalnog kapitala i broja redovnih profesora na univerzitetima. U Sjedinjenim Američkim Državama je utvrđeno da univerziteti promovišu regionalni razvoj, posebno kroz elektroniku, inženjering i primenu nauke u industriji.

U pogledu socijalizacije studenata u priznate poslovne norme, visokim obrazovanjem se mogu ojačati društvene veze i omogućiti da se društvene i finansijske transakcije nesmetano nastave. Studenti uče kako bi se povećala upotreba njihovih intelektualnih sposobnosti i kako bi im se omogućilo da u poslu budu inovativni i kreativni.

Univerzitet sa regionom može da uzajamno deluje na različite načine. Jedan od načina je putem diplomiranih studenata, koji će se zapošljavati u privatnim i državnim sektorima. Pored tog region može da koristi rezultate univerzitetskih istraživanja ili da koristi razne vrste konsultantskih usluga koje pruža univerzitet.

4.3.3 Promovisanje ekonomskih aktivnosti

Univerziteti su veoma često povezani sa poslovnim kompleksima, specijalizovanim istraživačkim centrima, čak i sa bolnicama, centrima za stanovanje i stambenim centrima, sportskim centrima, kao i sa kulturnim i javnim institucijama. Ponekad su oni u vezi i sa komercijalnim poduhvatima kao što su naučni, tehnološki ili biznis projekti.

Univerziteti većih kapaciteta mogu imati nekoliko hiljada zaposlenih lica i milione dolara u svom budžetu. Univerziteti su upravo zbog svoje veličine i prisustva obavezni da imaju uticaj na ekonomski razvoj. Napomenućemo da prisustvo studenata iz drugih država dodatno povećava ekonomski uticaj univerziteta.

4.4 Neophodani uslovi za korisnosti univerziteta za region

Univerzitet u oblasti u kojoj se nalazi ne garantuje fiksni iznos naknade za zajednicu. Na količinu novčanih sredstava, to jest na korist, koju će univerzitet obezbediti lokalnoj zajednici utiču određeni faktori.

4.4.1 Osnovne i srednje obrazovne infrastrukture

U nerazvijenim zemljama koje nemaju osnovno i srednje obrazovanje širenje univerzitetskog sistema ne bi nužno pružilo merljive koristi za region, dok bi ulaganjem u niže nivoe obrazovanja najverovatnije dovelo do adekvatnog podizanja životnog standarda stanovništva.

4.4.2 Postojeća domaća ekonomija u zdravom stanju

Za diplomirane studente postojanje slobodnih radnih mesta u lokalnoj zajednici je neophodno. Ukoliko ona nisu dostupna, diplomirani studenti će napuštati zajednicu, noseći sa sobom poboljšani društveni kapital. Postojanje stručne radne snage može da privuče firme iz drugih mesta i da dovede do povećanja stope osnivanja novih lokalnih firmi. Međutim, totalni efekat će se osetiti samo ako neki od studenta budu privučeni da ostanu na univerzitetu i posle završetka studija.

Srbija je, danas, zemlja sa veoma teškom ekonomskom i političkom situacijom. Svetska ekonomska kriza je do kraja razotkrila da dosadašnji model privrednog rasta Srbije nije održiv i da se mora temeljno menjati, ako želimo da izbegnemo sudbinu nerazvijene i prezadužene zemlje. U Srbiji je stopa nezaposlenosti na kraju aprila 2011. godine iznosila čak 22,2%⁹. Ovo su samo neki od razloga koji podstiču studente i uopšte visokoobrazovane ljude da napuštaju našu zemlju. Najčešće je ekonomska situacija, kombinovana sa lošom državnom upravom faktor koji podstiče na emigraciju ili takozvani odliv mozgova. Prema odrednici "odliv mozgova", Srbija se nalazi na 136. mestu od ukupno 139 zemalja. Uprkos teškoćama da se utvrdi broj srpskih stručnjaka u inostranstvu, jedno je sigurno, Sjedinjene Američke Države su za njih najprivlačnije. Godine 1999. U Sjedinjenim Američkim Državama registrovano je oko 4100 srpskih naučnika i inženjera. Od ukupnog broja njih 2700 je već imalo državljanstvo Sjedinjenih Američkih Država, 900 permanentni boravak, a 500 vizu privremenog boravka. Više od 2000 njih je radilo u oblasti istraživanja i razvoja, a to ne bi trebalo da bude iznenađujuće ako napomenemo da je Srbija na 110. mestu u svetu po rashodima preduzeća usmerenim na istraživanje i razvoj, a po kvalitetu naučnoistraživačkih institucija nalazimo se na 54. mestu.

Nedavna istaživanja su takođe pokazala da se najveći broj visokoobrazovnih migranata iz Srbije, Evrope i drugih zemalja nalazi u Sjedinjenim Američkim Državama. Tačnije više od 50% visokoobrazovanih je migriralo u Sjedinjene Američke Države.

Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Srbije, danas Ministarstvo prosvete i nauke, u poslednje dve godine posvetilo je dužnu pažnju fenomenu odliva mozgova formirajući bazu podataka o našim naučnicima u inostranstvu i predložilo strategiju za njegovo buduće sprečavanje. Međutim Ministarstvo nije uspeo da učini značajniji korak u pogledu izdvajanja sredstava za istraživanja i razvoj. Procena je da u nauku Srbija ulaže manje od pola procenta

⁹ <http://www.blic.rs/Vesti/Ekonomija/263128/Nezaposlenost-u-Srbiji-povecana-na-222-odsto>

bruto društvenog proizvoda, što nas i dalje svrstava među zemlje sa njamanjim ulaganjem u nauku u regionu. Pored veoma niskih ulaganja u nauku zabrinjavajući je nedostatak jasnog pozitivnog trenda u pogledu tih izdvajanja, dok u gotovo svim visokorazvijenim i srednjerazvijenim zemljama sveta ulaganja u nauku kontinuirano rastu.¹⁰

Region studentima i zaposlenima na univerzitetu treba da ponudi adekvatne uslove za potrošnju novca. Ukoliko je region manje razvijen i ne pruža svojim potrošačima adekvatne uslove za potrošnju novca veća je verovatnoća da će rashodi ići van tog regiona. Ovo je dilema o lokalnom ekonomskom razvoju doprinosa univerziteta malim gradovima ili dilema otvorene ekonomije, gde se opterećenja osećaju lokalno ali se koristi percipiraju kao nacionalno širenje.

4.4.3 Dobra reputacija i van regiona

Što više univerzitet može da privuče nelokalnih, kao i lokalnih studenata, utoliko će imati više koristi za region. Zdrava regionalna privreda i uspešan univerzitet se međusobno dopunjuju i čine se stabilnijim. Da bi ovaj virtuelni ciklus ostao u pokretu, to jest da bi postojala pomenuta interakcija između regiona i univerziteta, univerzitet zahteva od fakulteta da poveća njegov ugled kroz efikasno ispunjavanje misije, kao institucije, bilo da je u pitanju istraživanje, nastava ili nešto drugo. Kroz fakultetsku aktivnost podržanu efikasnim upravljanjem univerziteta, njegova reputacija će biti poboljšana. Koordinisane i kooperativne akcije administrativnog i pomoćnog osoblja fakulteta su od ključnog značaja. Poboljšana reputacija, izgrađena na ispunjavanju zadatih ciljeva unapređenja univerziteta, pa samim tim i fakulteta, će privući studente i izvan regiona.

Za poboljšanje kvaliteta univerziteta, odnosno univerzitetskog obrazovanja, nophodno je koristiti indikatore. Indikatori su dakle neophodan instrument za praćenje i ocenu stanja na univerzitetima kao i za formulisanje pravca razvoja obrazovnog sistema na svim nivoima. Osnovni cilj indikatora jeste da se na objektivan način donesu zaključci o kvalitetu i na osnovu njih pripremi plan za naredni period. Potrebno je da indikatori budu odabrani i definisani na dobar način, a kvalitetne indikatore može da obezbedi jedino timski rad nastavnog osoblja, studenata, administrativnog osoblja, predstavnika ministarstava kao i drugih relevantnih činilaca.

Srbija je prošla prvu fazu primene novog sistema visokog obrazovanja zasnovanog na Bolonjskom procesu. Zakon o visokom obrazovanju iz 2005. godine definisao je obavezu visokoobrazovnih institucija da razviju sistem kvaliteta. Većina institucija razvila je sopstveni sistem kvaliteta, najveći nedostatak predstavlja nemogućnost adekvatnog poređenja među institucijama, kao i donošenje zaključka o celokupnom stanju visokog obrazovanja. Zbog toga je uvođenje i razvijanje indikatora veoma važno.

¹⁰ <http://www.politika.rs/pogledi/Vladimir-Grecic/Vise-nasih-naucnika-u-dijaspori-nego-u-Srbiji.lt.html>

Indikatori su empirijski podaci kvalitativne i kvantitativne prirode. Ovi podaci postaju pokazatelji performansi ukoliko izražavaju zamišljene ciljeve učesnika u nekom procesu. To im daje kontekstualni i vremenski značaj.

Visokoškolske ustanove u svojim aktima definišu oblast obezbeđivanja kvaliteta. Kao primer uvodimo skup oblasti kvaliteta koji su definisani na Univerzitetu u Novom Sadu, 2011. godine:

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| • studijski program | • nastava |
| • istraživanja | • saradnja |
| • udžbenici i literature | • vrednovanje studenata |
| • resursi | • nenastavna podrška |
| • uslovi studiranja | • proces upravljanja |
| • kultura kvaliteta | |

Srbija do sada nije pristupala sistematskom difinisanju indikatora u oblasti visokog obrazovanja. Prvi pravi korak u definisanju indikatora za praćenje stanja u obrazovanju učinio je Nacionalni prosvetni savet Republike Srbije koji je za 2011. godinu doneo indikatore za praćenje stanja u obrazovanju i vaspitanju. Ovaj dokument sistematično uvodi odnosno definiše, najvažnije indikatore.

Indikatori za praćenje stanja u obrazovanju i vaspitanju su neophodni, jer omogućavaju da se sagledaju dobre i loše strane različitih segmenata obrazovnog sistema, kao i da se stanje sistem u Srbiji upoređi sa stanjem u drugim zemljama.

Predložen je skup od 86 indikatora raspoređenih u pet širih kategorija:

1. društveno-ekonomski kontekst (4 indikatora)
2. obuhvat, napredovanje i završavanje (42 indikatora)
3. kvalitet obrazovnih postignuća (12 indikatora)
4. obrazovni proces (16 indikatora)
5. obrazovni resursi (12 indikatora)

Ne postoje prikupljeni podaci o korišćenju indikatora na našim univerzitetima. U Srbiji su najveći državni univerziteti neintegrisani. Oblast kvaliteta bi svakako trebala da bude jedna od prvih integrišućih funkcija na univerzitetima. Objedinjavanje na nivou univerziteta i donošenje celovitog sistema kvaliteta, koji bi bio primenjen na svim fakultetima koji su u sastavu univerziteta veoma sporo napreduje. Iz tih razloga potrebno je uložiti dodatni napor i primenom iskustva iz regiona i Evrope, uz uvažavanje specifičnosti našeg visokog obrazovanja, razviti sistem kvaliteta na svakom univerzitetu. Polazeći od toga da je Srbija mala zemlja, u

interesu razvoja visokog obrazovanja jeste da indikatori na svim univerzitetima budu međusobno usklađeni.

Finansijsko stanje na državnim univerzitetima je jedan od ograničavajućih faktora u kvalitetu rada u oblasti obrazovanja. Nepostojanje osoblja, koje se, pre svega bavi pitanjima kvaliteta, onemogućuje razvoj u oblasti kvaliteta.¹¹

Z. Lužanin u svom radu “Indikatori kvaliteta” dala je predlog od 53 indikatora od kojih ćemo ovde izdvojiti samo one koji su u vezi sa saradnjom između regiona i univerziteta.:

- Studenti iz oblasti (regiona) unutar Srbije
- Studenti iz Srbije
- Broj diplomiranih studenata
- Procenat diplomiranih studenata 1, 2, 3
- Zaposleni diplomirani studenti u prvoj godini nakon diplomiranja
- Interdisciplinarni programi
- Univerzitetska industrijska istraživanja
- Završni radovi u saradnji sa privredom
- Studentska praksa

¹¹ Z. Lužanin, Indikatori kvaliteta, Univerzitet u Novom Sadu, 2011

5. Faktori motivacije

Istraživanja pokazuju da je teško, čak gotovo i nemoguće da motivišete zaposlene ukoliko oni ne žele da budu motivisani ili da na neki način „podmitite” zaposlene kako bi oni imali više entuzijazma prilikom obavljanja svog posla. Međutim, zaprepašćujuće je lako demoralisati zaposlenog pojedinaca. Radi našeg modela mi ćemo se fokusirati na tri glavna faktora koji pokreću motivaciju i demotivaciju, a to su: adekvatna institucionalna podrška, dostupnost resursa i inicijativa kolega za rad.

5.1 Adekvatna institucionalna podrška

Herzbergova klasična motivaciono-higijenska teorija, poznata kao Teorija dva faktora, u suštini objašnjava motivaciju zaposlenih. Ona sugerise da su zaposleni najviše motivisani nematerijalnim faktorima kao što su: postignuća, uživanje u radu, afirmacija i odgovornost. Ovo može pomoći da se objasni naočigled iracionalan izbor građenja karijere na fakultetu ili univerzitetu, u koju se ulaže mnogo truda, novca i mogućih troškova, da bi se za uzvrat dobila relativno skromna finansijska dobit.¹²

To, naravno, ne znači da zaposleni na univerzitetu ne treba da budu finansijski nagrađeni za svoj rad. U modelu Herzberga se pojavljuju dva suprotna pojma, pojam zadovoljstva i pojam nezadovoljstva. Visoka plata, na primer, ne može stvoriti zadovoljstvo tamo gde ga nije bilo i ranije, ali percepcija nepravedno niske plate može stvoriti nezadovoljstvo. Zaposleni mogu biti efektivno demoralisani, to jest nezadovoljni ukoliko, kao što smo već napomenulu, dođe do neopravdanog smanjenja plate, nepravednih radnih zadataka i neefikasne organizacione procedure. Visoko na listi stvari koje se obično gube kada se budžet smanjuje su: povećanje plata, podrška administracije, redovno održavanje objekta i tako dalje. Kao posledica smanjenja budžeta javlja se, gotovo uvek, prisustvo nezadovoljstva zaposlenih.¹³

U ovom kontekstu, moglo bi se postaviti, otvoreno, pitanje da li Herzbergova klasična teorija, to jest faktori motivacije zaposlenih na univerzitetu su i u Srbiji zasnovani, uglavnom, na nematerijalnoj osnovi?

Fakulteti, u sastavu univerziteta, su motivisani određenim faktorima: dostignućima, odgovornošću, priznanjem koje imaju od strane drugih institucija, statusom, nadležnošću, ličnim razvojem kao i zadovoljstvom koje nastaje iz sopstvenog rada. Ukoliko ovi faktori nisu ispunjeni, motivacija fakulteta za dalji napredak će značajno opasti bez obzira na nivo plate. Ne samo motivacija i zadovoljstvo se gubi u odsustvu institucionalne podrške, ali i kontinuirano

¹² F. Herzberg, B. Mausner and B. Snyderman, *The Motivation to Work*, John Wiley, 1959

¹³ F. Herzberg, One more time: How do you motivate employees?, *Harvard Bus. Rev.*, Volume 11, September – October 1987, p. 109 - 120

slabljenje resursa može dovesti do prisustva nemotivisanosti. Kao posledica smanjenja budžeta pogoršavaju se fizički kapaciteti. Veća štedljivost često dovodi do praćenja i dokumentovanja svakog potrošenog dinara i samim tim dovodi i do nezadovoljstva na radnom mestu, javljaju se i problemi neefikasno i frustrirajuće organizovanih pravila. Izgleda razumno predvideti da će uslediti rasprostiranje demotivacije, a zatim i pad u ispunjavanju delotvorne misije institucije.

5.2 Dostupnost resursa

Pored pitanja demotivisanosti, nedostatak potrebnih sredstava će negativno uticati na sposobnost zaposlenih na univerzitetu da obavljaju svoje poslove, kako bi unapredili misiju istog. Nedostatak adekvatnih resursa će ograničiti preformanse, bez obzira na motivaciju ili namere. Na primer, profesor koji više nema asistenta će morati da se odrekne pripreme vežbi ili vremena koje je koristio za istraživanje, kako bi ocenjivao studente ili radio u laboratoriji, a što je ranije, umesto njega, obavljao upravo asistent.

Istraživanja o smanjenju broja zaposlenih u instituciji su nedavno usmerena na utvrđivanje negativnih posledice i nemogućnosti institucije da održi svoje početne ciljeve. Istraživanja su pokazala da samo oko 25% firmi, koje su smanjile kapacitete, su postigle poboljšanje u produktivnosti, novčanim tokovima ili su postigle povećanje akcionarskog investiranja. Čini se da smanjenje broja zaposlenih ima jedinstvene negativne posledice za pojedince i organizacije. Smanjenje broja zaposlenih može dovesti do: osećanja nesigurnog radnog mesta, besa, stresa na poslu, smanjenja odanosti i posvećenosti organizaciji, smanjuje se nivo motivacije kao i produktivnosti radnika i povećava otpornost na promene.

Pošto je većina istraživanja, koja ispituju, uticaj smanjenja broja zaposlenih na poslovanje, rađena na privrednim organizacijama, a ne na univerzitetima, čini se razumno pretpostaviti da su posledice smanjenja broja zaposlenih u okviru univerziteta slične.

5.3 Delovanje kolega

U akademskim krugovima, kao i u drugim profesijama, mišljenje kolega i norme profesionalne grupe su važnije nego formalne sankcije i nagrade za usmeravanje ponašanja koje nameće institucija. Standardi akademske grupe i sprovođenje istih od strane pojedinca, vršenjem suptilnog pritiska grupe, predstavljaju osnovno sredstvo za uspostavljanje usaglašenosti sa očekivanjima, bez obzira da li su očekivanja vezana za visoku ili nisku produktivnost. Ako demotivacija dovodi do promena u zalaganju pojedinca, norme akademske grupne mogu dodatno da obeshrabre i dovedu do teškog pronalaženja izlazne situacije za pojedinca.

6. Metodologije za istraživanje ekonomskog uticaja univerziteta

Tri pristupa su korišćena u proučavanju univerziteta i njihovog uticaja na ekonomski razvoj. Ti pristupi su:

- a) Korelacija koncentracije visoke tehnologije sa raznim lokalnim faktorima kao što su: univerziteti u regionu, plate, nivoi pogodnosti za implementaciju visoke tehnologije i tako dalje.
- b) Ispitivanje univerziteta, u pogledu indukcije rasta. Ove studije obično pokazuju pozitivan efekat.
- c) Ispitivanje lokalnog uticaja jedne specifične institucije i računanje direktnog uticaja na: zapošljavanje, prihode i prodaju. Istraživanje, koje sledi, prati američki savet za obrazovanje, koji ujedno i postavlja okvire istraživanja za ove studije.

Uobičajen način da se izvrši studija ekonomskog uticaja univerziteta na region je da se koristi treći pristup. Razvija se scenario proizvodnje u kojem postojeći univerzitet prestaje da postoji i ispituju se razlike između scenarija sa postojanjem univerziteta i bez. Ovaj pristup je ilustrovan u jednoj definiciji ekonomskog uticaja, koja definiše ekonomski uticaj kao razliku između nivoa ekonomskog uticaja u regionu s obzirom na prisustvo institucija i nivoa ekonomskog uticaja koji bi bio prisutan kada one ne bi postojale.

Dok je istraživanje regionalnog ekonomskog razvoja kulminiralo paralelno su političke i druge formalne i neformalne grupe u zajednici zahtevale odgovornost od lokalnih univerziteta po pitanju njihovog uticaja na region. Studije uticaja univerziteta na regionalnu ekonomiju su razrešile to pitanje. Analize stope povraćaja na obrazovanje su sprovedene u mnogim zemljama u nastojanju da se razume i ubrza proces razvoja. U Sjedinjenim Državama početkom šezdesetih godina prošlog veka studije ekonomskog uticaja su se povećale po broju i značaju. Od 1976. godine bilo je preko sedamdeset studija o ekonomskom uticaju univerziteta i fakulteta u ovim zemljama. Danas studije ekonomskog uticaja univerziteta najčešće koriste kao izvor argumenata za odnose sa javnošću prilikom opravdanja svojih troškova i svog postojanja.

Iako je obilje studija ekonomskog uticaja postiglo značajan doprinos za razumevanje regionalne koristi od prisustva univerziteta, ovaj vid institucija još uvek ima problem sa nekim ograničenjima.

6.1 Studije o uticaju ograničenja: nedostatak empirijskih podataka

Malo empirijskih podataka je dostupno za korišćenje ukoliko želimo da istražimo unutrašnje funkcionisanje univerziteta. Zbog ovog upornog postojanja nedostataka empirijskih podataka za visoko obrazovanje, naučnici su dali doprinos ovoj oblasti putem istraživanja i uvođenjem već pomenutih indikatora.

6.2 Studija o uticaju ograničenja: razrešenje uzročnosti

U studiji o javnim rashodima i rastu, Keli ukazuje na problem indentifikacije uzročnosti: “istovremenost je problem koji muči ovu literaturu...moglo bi se reći da praktično sve ostale nezavisne promenljive (u studiji o javnim rashodima i rastu) su posledica, a ne uzrok rasta. Na primer, smanjenje budžeta može se svesti na sistem državnih univerziteta, kao zakonodavni odgovor na ekonomske probleme u državi uopšte. Univerzitetski pad se zatim može posmatrati tako da bude u uzajamnom odnosu sa regionom, ali tada postaje teško odrediti procenat regionalnog pada koji se na neki način može prepisati nedostatku resursa u okviru univerziteta.”¹⁴

6.3 Studija o uticaju ograničenja: kratak vremanski vidokrug

Efekti univerziteta na region, po vremenu trajanja, mogu biti dugoročni i kratkoročni. Felsenštajn kaže da: ”lokalni efekt prihoda povezan sa brojem zaposlenih na univerzitetu je manje ili više neposredan, dok efekti prihoda povezanih sa proizvodnjom znanja ili obuke stručne radne snage su raspoređeni tokom života ovih resursa.”¹⁵ Dugoročne efekte, nažalost, je teško izmeriti, jer potpuna stopa prinosa na obrazovanje se može proceniti na kraju životnog veka pojedinca. Neki istraživači su se posvetili ispitivanjima dugoročnih efekata resursa koristeći pri tom podatke iz registra popisa stanovništva.¹⁶

6.4 Studija o uticaju ograničenja: dvostruka priroda

Veoma je važno da napomenemo da ove studije ekonomskog uticaja imaju tendenciju da u suštini budu binarne, upoređujući uticaj postojećih institucija sa onim koliki bi efekat mogao biti ukoliko bi se one potpuno uklonile. Takođe, smatra se da ispitivanje ekonomski uticaj univerziteta na region mora uvek biti deo komparativne analize.

Trenutno stanje i uticaj univerziteta je obično očigledan i mogao bi se lako opisati, dok je alternativno stanje često veoma teško pretpostaviti. Loše definisano, to jest ocenjeno, alternativno stanje prilikom istraživanja dovodi u pitanje validnost analize, na nerealan način

¹⁴ T. Kelly, Public expenditures and growth, J. Dev. Stud. 34 (1), Volume 26, 1997, p. 60 – 85

¹⁵ D.Felsenstein, The university in the metropolitan area: Impact and public policy implication, *Urban Stud.* 33 (9), Volume 16, November 1996, p. 1565-1581

¹⁶ J. Quiggen, Human capital theory and education policy in Australia, *Australian Econ. Rev.* 32 (2), 130, June, 1999

manipuliše rezultatima i dovodi do preuveličavanja procene pozitivnog uticaja, najčešće radi publiciteta i želje da se prikaže dobra reputacija univerziteta. Ni jedna od ovih praksi ne služi profesiji, analizi ili javnosti.

Drugim rečima, dugoročni, neprekidan efekat postepenog nefinansiranja univerziteta i gubljenje podrške nije, i ne može biti, uzet u obzir u takvim studjama.¹⁷

¹⁷ L.J. Lau, D. T. Jamison, S. C. Lui and S. Rivkin, Education and economic growth: Some cross – sectional evidence from Brazil, *J. Dev. Econ.* 41, Volume 25, 1993, p. 45-70

7. Modeli finansiranja univerziteta

I matematički model

Koristeći se diferencijalnim računom nastojaćemo da obuhvatimo neka ograničenja postojećeg istraživanja. U ovom modelu ćemo opisati matematički model za simulaciju efekta smanjenja budžeta univerzitetske organizacije. Ispitaćemo kako smanjenje nivoa budžeta univerziteta utiče na fakultete, kako fakulteti utiču jedni na druge, kako studenti mogu međusobno da utiču jedni na druge i ispitaćemo unakrsnu interakciju populacija. Na kraju ćemo se posvetiti ispitivanju i analizi efekata fakulteta i studenata na industriju.

Upotreba matematičkih modela ove prirode omogućava nam simulaciju kontinuiranih pojava, za razliku od binarnih i omogućava inkorporaciju simultanih efekata i međusobnu interakciju populacija. Pored toga, simulacija u matematičkim modelima može da se vrši i u toku dužeg vremenskog perioda. U matematičkom modelu, koji ćemo ovde predstaviti, simulaciju ćemo vršiti u kraćim vremenskim periodima.

Model, koji ćemo predstaviti u daljem radu, ima za cilj da služi kao okvir za analizu. U ovaj okvir moraju biti postavljeni koeficijenti i vrednosni parametri, koji su prilagođeni specifičnoj situaciji studija. Na žalost, kao i u literaturi drugih studija, susrešćemo se sa problemom nedostatka empirijskih podataka i kvantifikovanja pojava.

7.1 Pregled matematičkog modela

Jezgro našeg modela je izgrađeno na mehanizmima koji su slični onima korišćenim za opisivanje difuzije tehnologije i inovacija. Matematičke modele difuzije inovacija uveo je Mensfeld, u kontekstu studija, koliko brzo se upotreba broja inovacija širi od preduzeća do preduzeća, posmatrano u nekoliko odvojenih industrija.¹⁸

Modeli difuzije inovacija mogu se pravilno iskoristiti kako bi se opisala svaka situacija u kojoj su razvoj, implementacija i širenje novih ideja, ponašanje metoda ili proizvoda u poslovanju, organizaciji ili u društvu kao celini korisni. Na primer, Strang i Soul¹⁹ su razmatrali faktore koji motivišu pojedinca da usvoji određeno ponašanje i kako se teorija difuzije inovacija odnosi na obrasce individualnog odlučivanja. U modelu koji mi razmatramo mislimo na produktivnost ili uspeh kao ponašanje ili kvalitet, koji može da se ukoreni kroz univerzitetsku

¹⁸ E. Mansfield, Technical change and the rate of imitation, *Econometrica* 29 (4), October 1961

¹⁹ D. Strang and S.A. Soule, Diffusion in organization and social movements: From hybrid corn to poison pills, *Annual Rev. Sociology* 24 (1), Volume 26, 1998, p. 265-291

organizaciju. Model, koji kreiramo, biće izgrađen na matematičkom opisu difuzije produktivnosti ili uspeha i difuzija će se odvijati u zavisnosti od faktora na osnovu kojih ona može da se ubrza ili uspori.

Definicija produktivnosti i uspeha je ono što varira u zavisnosti od posebnih zahteva i standarda posmatrane institucije. Mi ćemo definisati produktivnost i uspeh u relativnom smislu kao akcije koje ispunjavaju misiju institucije. Na primer, produktivnost od članova fakulteta može biti kvalifikovana i kvantifikovana od strane računovodstva kroz rezultate: evaluacije nastave, broja objavljenih radova, broja eksternih grantova dobijenih u datoj godini i slično. Produktivnost ili uspeh u matematičkom modelu od strane studenata može biti kvalifikovana preko: prosečne ocene studenata, rezultata standardizovanih testova, uspešno ispunjavanje uslova diplomiranja i slično. U matematičkom modelu, koji ćemo prikazati, dozvolićemo kategorizaciju člana posmatrane populacije na produktivane i neproduktivane. U budućem poboljšavanju modela omogućićemo viši nivo produktivnosti i uspeha u okviru posmatrane populacije.

Na osnovu onoga što smo rekli u poglavljima 2. i 3. možemo da uvedemo sledeće pretpostavke u vezi interakcije i uzročnosti populacije:

- ***Vršenja uticaja na individualno ponašanje***

Na osnovu onoga što smo analizirali u poglavlju 4.3 proizilazi da primenjivanje standarda koji postoje u kolektivu, predstavlja osnovno sredstvo za obezbeđenje saglasnosti među stručnjacima za očekivanja u vezi produktivnosti. To ćemo nazivati “faktor pritiska kolega” i račun za to u našem modelu dozvoljavaće prisustvo produktivnog fakulteta, kako bi se stimulisalo produktivno ponašanje među fakultetima. Proširili smo primenu faktora pritiska kolega i na populaciju studenata, što omogućava da prisustvo uspešnih studenata potpomaže još većem uspehu u studentskoj populaciji. Mehanizam, kojim se produktivnost i uspeh difuzno širi populacijom, opisaćemo matematički pomoću termina difuzije inovacija.

- ***Adekvatna institucionalna podrška utiče na produktivnost***

Smanjenje motivacije i studija, kao što je rečeno u 3. poglavlju, ukazuju na to da smanjenje nivoa budžeta često dovodi do smanjenja nivoa produktivnosti u okviru organizacije kroz: ograničenje resursa, desetkovanje radne grupe i demoralizacije pojedinaca. Nasuprot tome, poglavlje 2 ukazuje na pozitivnu korelaciju između javnih institucija i univerzitetskog nivoa obrazovanja, kao i na korist od visokog obrazovanja,

uključujući ekonomski rast uz poboljšanu produktivnost. Dakle razumno je pretpostaviti, radi ovog modela, da će adekvatno utrošena sredstva podstaći viši nivo produktivnosti u profesorskoj populaciji. Naglašavamo da pretpostavljamo da će sredstva biti kvalitetno potrošena do neke mere, a ne da se prosto apsorbuju u neuspele poduhvate. Upravo odgovor na pitanje, kako sredstva treba raspodeliti u okviru budžeta univerziteta u cilju podsticanja maksimalne produktivnosti, planiramo da damo u daljem radu.

- ***Uticao fakulteta na pronalaženje novina***

Vrste rezultata koje se obično smatraju produktivnim su na primer obezbeđivanje spoljašnjih grantova. Pošto je ovo lako merljiva mera produktivnosti, izabrali smo da to bude karakteristika u vezi sa produktivnim ponašanje u našem konkretnom modelu. Nismo navodili mogućnost da bi se u slučaju obezbeđenja grantova smanjila i mera produktivnosti. Mi jednostavno omogućavamo pretpostavku da će u proseku pojedinci, unutar grupe produktivnih profesora, obezbediti neki fiksni broj grantova, po profesoru, na godišnjem nivou. Takođe, neki produktivni profesori mogu obezbediti nula dolara, dok drugi mogu obezbediti dva puta više od proseka.

- ***Dostupnost resursa utiče na produktivnost***

U jednostavnom modelu, razmatraćemo dobre studente koji će biti resursi profesorima. Istovremeno, aktivni profesori će biti glavni resursi za studente. Mi održavamo potrebu za raspoloživim resursima, dakle ne samo uključivanjem pozitivnog efekta povećanja nivoa budžeta na produktivnost već i dozvoljavajući populaciji i studenata i profesora da istovremeno utiču jedna na drugu.

- ***Univerzitet podstiče regionalni i industrijski rast***

Kao što je rečeno u poglavljima 3.2 i 3.3, značajan broj dokaza ukazuje da univerzitet ima pozitivne ekonomske uticaje na region i da povećanje nivoa regionalne industrije je jedan ekonomski pokazatelj. Uključićemo korisnost ekonomskih efekata univerziteta, dozvoljavajući prisustvo produktivnih profesora i uspešnih studenata, a posebno njihov pozitivan uticaj na broj industrijskih radnih mesta u regionu.

Gradićemo naš model u nekoliko faza. Pokušaćemo da se pridržavamo filozofije da matematički model treba da bude što jednostavniji, uključujući samo one elemente za koje se pretpostavlja da značajno utiču na ponašanje modela. Nakon toga model ćemo učiniti kompleksnijim samo kada to bude neophodno, na taj način što ćemo prvo uvesti jednu

populaciju profesora, zatim dodajemo populaciju studenata. Na kraju, dodajemo industriju kako bi kompletirali model.

Model sa jednom populacijom – populacija profesora

Počecemo od razvoja veoma jednostavnog modela, koji opisuje promenu veličine jedne populacije tokom vremena, što će u našem slučaju biti populacija produktivnih profesora na univerzitetu. U ovom slučaju uticaj faktora na populaciju profesora biće prisustvo drugih produktivnih fakulteta, inostrane vlade i grantova.

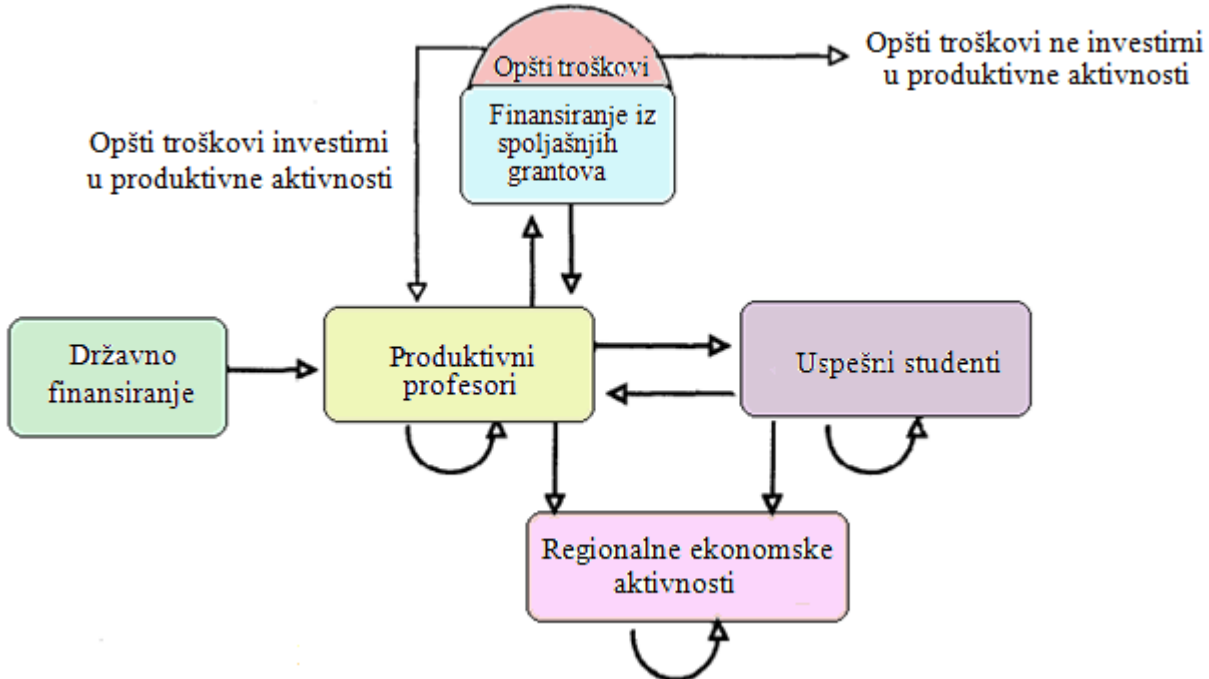
Model dve populacije – populacije profesora i studenata

Nakon diskusije razvoja modela difuzije produktivnosti između univerzitetskih profesora u model dodajemo i drugu populaciju, studente. Uvrštavanjem efekta vršnjačkog pritiska na studente, uključujemo termin difuzije, kako bi opisali razvoj, u toku nekog vremenskog perioda, uspešne studentske populacije. Dodatno ćemo uključiti pretpostavke da prisustvo dobrih studenata ima pozitivan efekat na populaciju produktivnih profesora, dok će nedostatak dobrih studenata imati negativan efekat. Istovremeno na populaciju dobrih studenata će pozitivno uticati prisustvo produktivnih profesora, a na istu populaciju negativno utiče nedostatak produktivnih fakulteta. Odlučili smo da ne uključujemo efekat nivoa školarine, pod pretpostavkom da su zbog ovog jednostavnog modela prihodi i naknade po učeniku izbalansirani sa njegovim rashodima. Direktni finansijski uticaj studentske populacije će biti uvršten u diskusiju o budućem modelu ekstenzije.

Model tri populacije – populacije profesora, studenata i industrije

Konačno, uključujemo i treću populaciju u model, broj radnih mesta u industriji zasnovane na poziciji iste u regionu. Iako već aktivna ekonomija u regionu može imati pozitivan efekat na univerzitet mi za sada biramo pretpostavku da broj radnih mesta u industriji, u regionu, neće direktno uticati na nivo produktivnosti i uspeh u populaciji profesora ili studenata. Dalja kompleksnost se može dodati u ovaj model ukoliko bi se omogućio ovaj efekat. Međutim, mi dozvoljavamo da na broj industrijskih radnih mesta u regionu, direktno utiče populacija uspešnih studenata i produktivnih profesora. Pored toga, u skladu sa teorijom difuzije inovacija, mi dozvoljavamo industriji da utiče na industriju na logistički način.

Simultani grafički prikaz modela sa tri zavisne populacije prikazan je na slici 1.



Slika 1. Dijagram toka simultanih zavisnosti za matematički model dinamičkog univerziteta

7.2 Model profesora i jednačina modela

U ovom odeljku, uvodimo parametre i uslove potrebne za najjednostavniji matematički model, prateći samo interakcije između eksternog finansiranja i produktivnih profesora.

- $P(t)$ = ukupan broj produktivnih profesora u trenutku t . U ovoj fazi matematičkog modela pretpostavljamo samo da je profesor ili produktivan ili nije. Nismo uključili stepen produktivnosti, a nismo naveli ni precizne mere produktivnosti. Kao što je već rečeno, može se koristiti svaka mera produktivnosti u skladu sa misijom institucije.
- P_T = ukupan broj profesora na univerzitetu. Pretpostavljamo da mi ne želimo u ovom trenutku da povećavamo ukupan broj profesora, mada u budućem usložnjavanju modela može se omogućiti rast populacije.
- I_p = prosečni prihodi, to jest broj grantova, koje produktivni profesor može da obezbedi u toku godine. Produktivno ponašanje je, kao i ranije, definisano kao akcija ispunjavanja misije univerziteta.
- E_p = prosečna potrošnja, odnosno iznos novca koji je potreban da se obezbedi osnovna novčana podrška jednom profesoru za godinu dana.
- E_T = ukupni rashodi potrebni za održavanje trenutne populacije na fakultetu za jednu godinu. U ovom slučaju, $E_T = P_T E_p$.

- $I_E(t)$ = ukupan prihod od eksternih grantova u trenutku t . Pošto pretpostavljamo da svaki produktivan član fakulteta je u stanju da obezbedi, u proseku, I_P spoljnih grantova, imamo da je $I_E(t) = I_P P(t)$.
- O_T = deo opštih troškova uzet iz ukupne sume fakultetskih grantova i potraživanja univerzitetske administracije. Imamo da je $0 \leq O_T \leq 1$.
- α = deo od opštih troškova, O_T , reinvestiran od strane administracije u cilju da podrži produktivne aktivnosti fakultetske populacije. Imamo da je $0 \leq \alpha \leq 1$.
- $F(t)$ = suma od finansiranja eksternih grantova, koja se koristi za podršku produktivnih aktivnosti u populaciji profesora. Imamo da je $F(t) = (1 - O_T + \alpha O_T) I_E(t)$. Član, $I_E(t) = I_P P(t)$ predstavlja ukupan broj spoljašnjih grantova dostupnih u trenutku t , a koeficijent $(1 - O_T + \alpha O_T)$ predstavlja deo tih grantova koji su direktno korišćeni da podrže produktivne poduhvate.
- I_G = ukupno finansiranje univerziteta iz državnih fondova na godišnjem nivou.

Promene u veličini populacije produktivnih profesora tokom vremena mogu da se posmatraju na jedan od sledeća dva načina:

- pojedinac može da napusti populaciju neproduktivnih profesora i da postane produktivan, a može da se desi i obrnuto,
- pojedinac može u potpunosti da napusti sistem i da bude zamenjen nekim produktivnim pojedincem.

Na primer, neproduktivan profesor može da postane produktivan zato što u jednom trenutku on dobija sredstva, koja su mu dovoljna za njegovo istraživanje ili zato što je inspirisan produktivnošću aktivnih istraživanja koja ga okružuju. Alternativno, neproduktivan profesor može jednostavno napustiti univerzitet penzionisanjem ili može doživeti neuspeh u pogledu mandata, na taj način što će biti zamenjen nekim produktivnim profesorom, koji svojim radom privlači prisustvo drugih aktivnih istraživača, kao i dostupnost značajne istraživačke podrške.

Uslovi za izbor u zvanje nastavnika na univerzitetima u Srbiji određeni su Zakonom o visokom obrazovanju, članom 64.²⁰ Situacija u našoj zemlji je po tom pitanju vrlo specifična, naime izbor i reizbor u zvanje profesora ne odnosi se na profesore koji imaju status redovnih profesora. Ovo se može smatrati velikim nedostatkom u pogledu analize produktivnosti profesora na univerzitetima u Srbiji, jer ova činjenica na direktan način otežava implementaciju matematičkog modela, obrađenog u ovom radu, na domaće univerzitete.

²⁰ Zakon o visokom obrazovanju, Univerzitet u Novom Sadu, 2011

Matematički obe navedene mogućnosti, promene strukture populacija, se mogu opisati na isti način. Kada populacija gubi svog člana to jest pojedinca, komplementarna populacija dobija člana. Naravno, to je dozvoljeno, zbog pretpostavke konstatne veličine populacije. Budući model poboljšanja će omogućiti fluktuacije u ukupnoj veličini populacije i matematički opis tog problema će biti značajno komplikovaniji.

Kako se populacija produktivnih profesora menja u toku vremena opisano je na sledeći način. Pretpostavimo da je broj profesora koji prelaze iz grupe neproduktivnih u grupu produktivnih u svakom vremenskom trenutku direktno proporcionalan delu profesora P/P_T , koji su već produktivni i populaciji profesora $P_T - P$, koji ostaju neproduktivni. Tada diferencijalna jednačina, koja opisuje difuziju produktivnosti među profesorima, može imati sledeć oblik:

$$\frac{dP}{dt} = c \left(\frac{P}{P_T} \right) (P_T - P). \quad (1)$$

Kroz koeficijent c mi smo uključili i efekat sredstava, koja su dostupna kako bi se podstakle produktivne aktivnosti. Jednačina (1) ima oblik osnovnog matematičkog modela difuzije inovacija. Model difuzije inovacija ima rešenja koja su u prirodi logistička. To znači da se proces usvajanja inovacija ubrzava do jedne određene tačke i onda usporava kako inovacije počinju da zasićuju zajednicu.

Naše c će imati sledeći oblik:

$$c = c_0 \frac{(c_1(I_G - E_T) + c_2F)}{E_P}.$$

Ovo nam ustvari govori da će na P pozitivno uticati bilo koja suma državnih sredstava I_G , koja prevazilaze minimum neophodnih troškova, E_T , kao i dostupnost spoljašnjih bespovratnih sredstava, koja se koriste za razvoj i održavanje produktivnih profesora. Sa druge strane, ako I_G padne ispod E_T to će negativno uticati na rast od P . Koeficijenti c_0, c_1 i c_2 su koeficijenti za skaliranje i biramo ih iz intervala $(0,1)$. Ceo koeficijent c je podešen za $1/E_P$, radi pretvaranja jedinice iz iznosa dolara u jedinicu redovnog profesora.

Diferencijalna jednačina koja opisuje $P(t)$ je sada predstavljena sa:

$$\frac{dP}{dt} = c_0 \frac{(c_1(I_G - E_T) + c_2F)}{E_P} \left(\frac{P}{P_T} \right) (P_T - P). \quad (2)$$

7.3 Numerički primer za model jedne populacije

Podsetimo se da postoji nedostatak relevantnih empirijskih podataka u literaturi iz kojih bi mogli da izvedemo precizne parametre modela. U stvari, u skladu sa Federikom i Kitgardom, ne postoji sveobuhvatan strukturni model veze društvenih institucija i ekonomskog rasta.²¹ U studijama ekonomskog uticaja univerziteta na region koja su rađena, doprinosi univerziteta ljudskom kapitalu i ekonomskom razvoju su bili priznati, ali nisu kvantifikovani.

Zbog nedostatka kvalitativnih podataka, mi smo prinuđeni da simuliramo evoluciju našeg sistema u okviru hipotetičkih univerzitetskih postavki. Matematički model je jednostavno okvir za analizu u koji se moraju uneti vrednosti parametara jedinstveni za određene institucije, koje se posmatraju u modelu. Dakle za našu hipotetičku instituciju biramo skup numeričkih vrednosti za parametre, koji daju intuitivni osećaj i izvor za prirodu rezultata. Eksperimentisanje ukazuje na to da inkorporacija različitih parametara omogućava da osnovna kvalitativna ponašanja modela ostanu nepromenjena, a kvalitativni rezultati će se razlikovati. To znači, trendovi, obuhvaćeni računskim rezultatima, će nastaviti da prate logističke staze u svim simulacijama, ali tačne numeričke vrednosti i brzine kojom sa menjaju tokom vremena će se razlikovati.

Pojedina ponašanja i ishode je najbolje posmatrati u više vremenskih skala. Kuigen tvrdi da ako stopa povrtaka bude korišćena na odgovarajući način u proceni prihoda školskog sistema, onda je neophodno da se iskoriste dugoročni podaci iz popisa.²² Felsenštajn takođe tvrdi da su efekti vezani za proizvodnju znanja raspoređeni tokom života ljudi.²³ Međutim, u numeričkim primerima koje ćemo obraditi u daljem radu, uglavnom nećemo koristiti dugoročne vremenske intervale.

Posmatramo $P(t)$ u našem modelu jedne populacije, populacije profesora, sa sledećim vrednostima za parametre:

- $P_T = 300$,
- $I_P = 200.000$ dolara,
- $E_P = 100.100$ dolara,
- $O_T = 0,25$,
- $\alpha = 0,1$.

²¹ J. Fedderike and R. Kitgaard, Economic growth an social indicators: An exploratory analysis, Econ. Develop. Cult. Change 46 (3), Volume. 35, 1998, p. 455 - 490

²² J. Quiggen, Human capital theory and education policy in Australia, *Australian Econ. Rev.* 32 (2), Volume 130, June 1999

²³ D. Felsenstein, The university in the metropolitan area: Impact and public policy implication, *Urban Stud.* 33 (9), Volume 16, November 1996, p. 1565 - 1581

Za ovu grupu simulacija, mi ćemo dozvoliti da glavna populacija, to jest populacija produktivnih profesora, broji njih desetoro. Stoga je:

$$P(0) = 10 \quad (3)$$

To je nešto preko 3% od ukupne profesorske populacije.

U našim simulacijama, izabrali smo početne vrednosti populacija i tražili smo da budu relativno male. Ovo nam omogućava da pokažemo da, prema ovom modelu, jednostavno finansiranje i održavanje univerziteta, čak i onog sa relativno neupečatljivim profitom, može da proizvede pozitivne rezultate, posmatrano u period i od nekoliko decenija.

Pretpostavljamo da su iznosi u dolarima implicitno prilagođeni inflaciji, a samim tim u račun ne uključujemo eksplicitne uslove za moguće promene u vrednosti dolara.

Za rešavanje jednačine (2) koristili smo kompjuterski program *Mathematica* 8.0.

7.3.1 Rezultati numeričkog primera za model jedne populacije

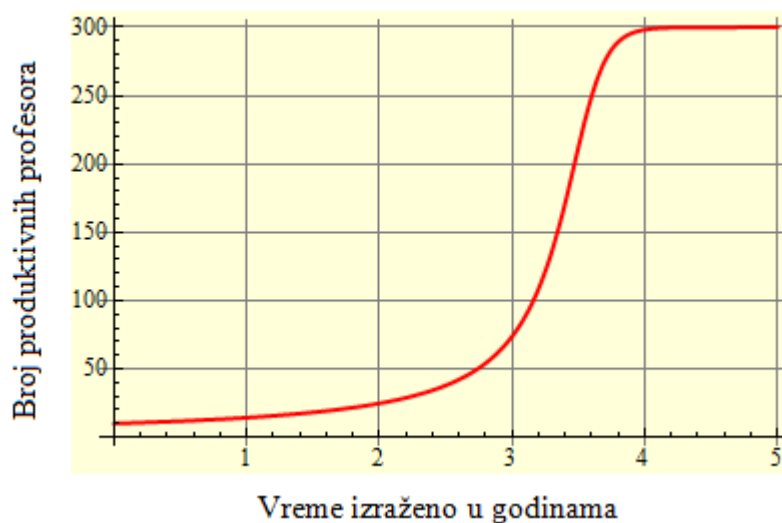
U ovom poglavlju predstavljamo numeričko rešenje jednačine (2). Ispitaćemo tri moguća slučaja:

1. Održavanje istog nivoa državnog finansiranja univerziteta tokom godine (u odnosu na inflaciju),
2. Smanjenje državnog finansiranja univerziteta za 5% godišnje (u odnosu na inflaciju),
3. Povećanje državnog finansiranja univerziteta za 5% godišnje (u odnosu na inflaciju).

U svakom slučaju, menjaćemo samo parametar, koji utiče na nivo državnog finansiranja univerziteta, dok svi ostali parametri ostaju isti.

Slučaj 1. Održavanje istog nivoa državnog finansiranja univerziteta

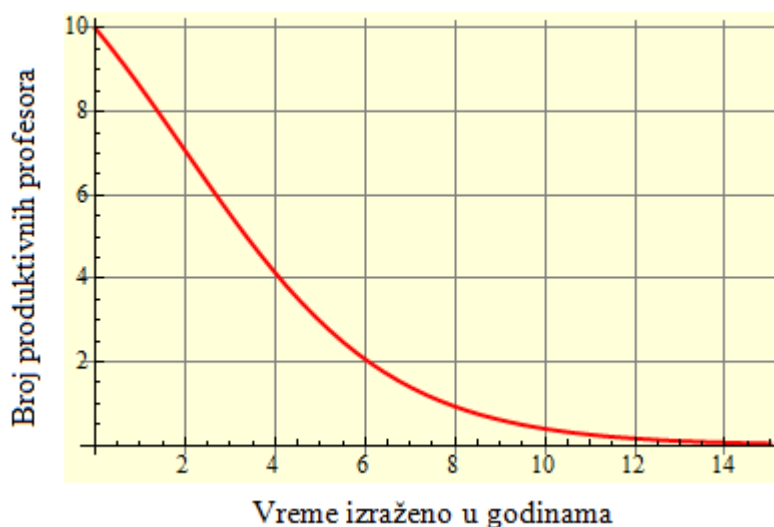
Efekti održavanja stabilnog državnog finansiranja za univerzitet su prikazani na grafiku, na slici 2. Vidimo da produktivna populacija profesora se ravnomerno održava u periodu od 3 godine, uz veoma blagi rast. Sve dok su finansiranja od strane države održiva, populacija produktivnih profesora će se postepeno povećavati, do treće godine. Pošto smo uzeli da početna populacija produktivnih profesora čini svega nešto više od 3% ukupne profesorske populacije, razumno je očekivati da će ona uz održivi nivo državnog finansiranja i određenu količinu eksternih grantova početi u jednom trenutku naglo da raste. U našem primeru nagli rast produktivne profesorske populacije desio se u period između treće i četvrte godine. U toku četvrte godine, kao i u budućem periodu, čitava populacija profesora postaje produktivna.



Slika 2. Uticaj održavanja nivoa državnog finansiranja univerziteta na populaciju produktivnih profesora

Slučaj 2. Smanjenje državnog finansiranja univerziteta

Numeričko rešavanje diferencijalne jednačine (2), kada se finansijsko stanje smanjuje svake godine za 5% prikazano je na slici 3. Vidimo sa prikazanog grafika, na slici 3, da sa određenim vrednostima koje smo izabrali za parametar državnog finansiranja i koeficijente skaliranja, efekat stalnog smanjenja državnog finansiranja univerziteta, je takav da će se u periodu od 4 godine populacija produktivnih profesora smanjiti za više od 50%, a u periodu između 14. i 15. godine produktivna populacija biće potpuno uništena i gotovo da se nikada ne bi mogla oporaviti.



Slika 3. Efekat smanjenja državnog finansiranja univerziteta, za 5% svake godine, na populaciju produktivnih profesora

Slučaj 3. Povećanje državnog finansiranja univerziteta

Povećavanje državnih sredstava namenjenih finansiranju visokog obrazovanja, svake godine, imaće na populaciju produktivnih profesore značajan uticaj. Na slici 4. možemo uočiti mali ali stabilan rast u populaciji tokom prvih godinu dana, nakon čega se rast u produktivnosti ubrzava, a već nakon 2. godine čitava populacija potencijalno produktivnih profesora u stvari postane produktivna. Ta populacija je tada održiva tokom preostalih godina.

Možemo uočiti da se grafici na slikama 2. i 4. veoma slično ponašaju. Primećujemo da će i u jednom i u drugom slučaju celokupna populacija profesora postati produktivna nakon određenog vremenskog period. U slučaju povećanja državnog finansiranja, proces u kojem populacija profesora postaje produktivna odvija se skoro duplo brže u odnosu na slučaj održivog državnog finansiranja.



Slika 4. Efekat povećanja državnog finansiranja univerziteta, za 5% svake godine, na produktivne profesore

Kao što smo napomenuli na početku, u ovom radu obrađujemo najjednostavniji matematički model finansiranja univerziteta. Iz tog razloga prikazana slučajevi deluju veoma idealistično. Model se može usložnjavati uvođenjem novih logičkih parametara.

7.4 Jednačina modela sa dve populacije - profesori i studenti

Sada smo spremni da u naš najjednostavniji model, koji smo obradili, dodamo i populaciju studenata. Ponovo pretpostavljamo da postoji fiksni ukupan broj studentske populacije i da postoji podskup ukupne studentske populacije, koji se može smatrati uspešnim na osnovu nekih kvantitativnih i kvalitativnih merila. Uvodimo nove promenljive:

- $S(t)$ = broj uspešnih studenata na univerzitetu u trenutku t ,
- S_T = ukupna studentska populacija, koja postoji na univerzitetu.

Prvo smo računali uticaj studentske populacije, koji će imati na populaciju profesora. Kao što smo diskutovali ranije, nedostatak sredstava ograničava preformanse, dok prisustvo adekvatnog nivoa resursa omogućava produktivno funkcionisanje. Dobri studenti mogu se smatrati pozitivnim resursima za profesore. Da bismo dokazali da prisustvo uspešnih studenata reflektuje pozitivan uticaj na populaciju produktivnih profesora, kao i da lošiji studenti imaju odgovarajući negativan uticaj na profesore uvodimo sledeći obrazac:

$$c_3 S - c_4 (S_T - S) \quad (4)$$

u našu jednačinu za $P(t)$. Parametri c_3 i c_4 su pozitivni faktori skaliranja i biramo ih iz intervala $(0,1)$. Na primer, način na koji studenti imaju pozitivan uticaj na populaciju profesora može da se dokaže na osnovu raspoloživosti kvalifikovanih studentskih istraživanja i nastave asistenata. Loši studenti mogu negativno da utiču na produktivnost profesora, oni mogu da uspore napredak kursa. Naravno, oni koriste institucionalne resurse podnošenjem žalbi zbog loših ocena i u dovoljnom broju zahteva dolazi do dodavanja popravnih kurseva u okviru univerzitetskog nastavnog programa.

Diferencijalna jednačina za $P(t)$ tada postaje:

$$\frac{dP}{dt} = c_0 \left(\frac{c_1(I_G - E_T) + c_2F}{E_P} + c_3S - c_4(S_T - S) \right) \left(\frac{P}{P_T} \right) (P_T - P) \quad (5)$$

Takođe, potrebno je jednačinu koja opisuje $S(t)$ menjati tokom vremena. Razumno je pretpostaviti da broj studenata, koji se menja u zavisnosti da li je student uspešan ili neuspešan, je proporcionalan broju uspešnih studenata, (S/S_T) , i broju neuspešnih studenata, $(S_T - S)$, koji postoje na univerzitetu. Iz ovoga sledi difuzija produktivnosti modela na kojoj se takođe zasniva ponašanje populacije profesora. Pretvaranje iz neuspešnog u uspešnog možemo smatrati da se dogodi, na primer, kada je neuspešan student inspirisan i potpomognut okruženjem uspešnih studenata i tada dolazi do njegovog pretvaranja u uspešnog studenta. Može se takođe desiti da kada neuspešan student napusti univerzitet, uspešan student se upiše, povučen dobrom reputacijom tog univerziteta. Diferencijalna jednačina koja opisuje $S(t)$ tada ima oblik:

$$\frac{dS}{dt} = d \left(\frac{S}{S_T} \right) (S_T - S), \quad (6)$$

gde je d koeficijent proporcionalnosti. Da bismo utvrdili koji oblik ima d navešćemo neke pretpostavke o tome šta podstiče rast procenta uspešnih studenata u populaciji.

Kroz koeficijent d , dozvoljavamo da mehanizam koji predstavlja prisustvo produktivnog fakulteta će pozitivno uticati na populaciju uspešnih studenata. Na primer, možemo pretpostaviti da je uspešan student privučen da upiše neki fakultet na osnovu njegove dobre reputacije i da je reputacija univerziteta u direktnoj vezi sa reputacijom njegovih fakulteta. Takođe možemo pretpostaviti da student koji je već upisan i koji ima potencijal da postane uspešan može biti pod uticajem aktivnog fakulteta, dok se isključivanjem fakulteta mogu čak uspešni studenti navesti na put da postanu neuspešni. Dakle, mi dozvoljavamo da će prisustvo produktivnih fakulteta pozitivno uticati na populaciju uspešnih studenata, dok će nedostatak produktivnih fakulteta imati negativan uticaj na studentsku populaciju. U našoj jednačini, koja opisuje $S(t)$, prirodno je tada da d ima sledeću formu:

$$d = d_0(d_1P - d_2(P_T - P)),$$

gde d_0 , d_1 i d_2 su pozitivni parametri skaliranja koje biramo iz intervala $(0,1)$. Promena populacije $S(t)$ u vremenu može se opisati sledećom formulom:

$$\frac{dS}{dt} = d_0(d_1P - d_2(P_T - P))\left(\frac{S}{S_T}\right)(S_T - S). \quad (7)$$

Za rešavanje sistema jednačina (5) i (7) koristili smo kompjuterski program *Mathematica* 8.0.

7.5 Numerički primer modela sa dve populacije

Numeričke vrednosti navedene u poglavlju 6.3 koje smo koristili za model sa jednom populacijom profesora takođe ćemo koristiti i za model sa dve populacije, profesora i studenata. Dodatno, izabraćemo da numerička vrednosti za ukupnu studentsku populaciju bude:

$$S_T = 3000 \quad (8)$$

i pretpostavićemo da je početna vrednost populacije uspešnih studenata:

$$S(0) = 500 \quad (9)$$

7.5.1 Rezultati numeričkog primera modela sa dve populacije

U ovom poglavlju, predstavimo numerička rešenja sistema nelinearnih jednačina, opisujući interakciju između populacije profesora i studenata, datih sa jednačinama (5) i (7). Opet ćemo pretpostaviti tri moguća scenarija:

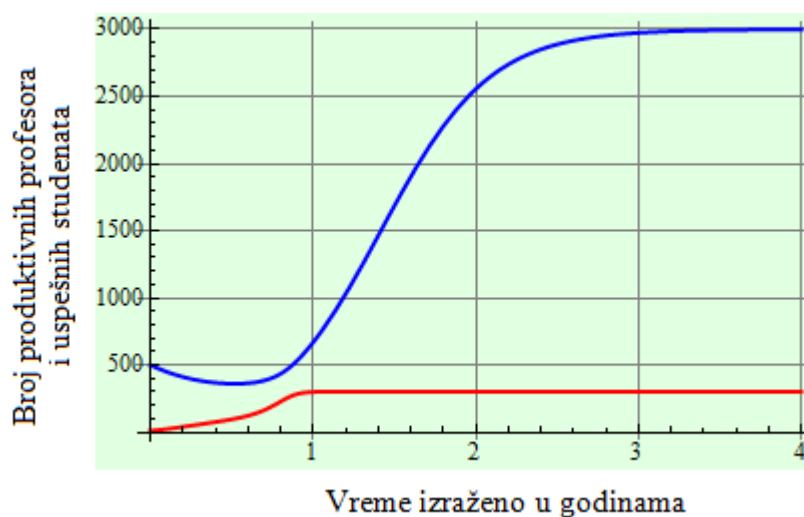
1. Održavanje istog nivoa državnog finansiranja univerziteta tokom godine (u odnosu na inflaciju),
2. Smanjenje državnog finansiranja univerziteta, za 5% godišnje (u odnosu na inflaciju),
3. Povećanje državnog finansiranja univerziteta, za 5% godišnje (u odnosu na inflaciju)

Slučaj 1. Održavanje istog nivoa budžeta univerziteta

Uticaj održavanja državnog finansiranja na profesorsku i studentsku populaciju je prikazan na slici 5. Uočavamo da obe populacije ispoljavaju značajne promene za veoma kratko vreme. Populacija produktivnih profesora raste veoma brzo, dok populacija uspešnih studenata zapravo opada, veoma sporo, u prvih nekoliko meseci. Populacija studenata nakon 8. meseci počinje da raste u početku polako i postepeno, a zatim nakon 1. godine mnogo značajnije. Interesantno je napomenuti da čak i nizak nivo dobrih studenata ima dovoljan pozitivan efekat na populaciju profesora tako da za prvih nekoliko meseci populacija uspešnih profesora čini oko 50% ukupne profesorske populacije.

Početni pad, koji se uočava u populaciji uspešnih studenata, ukazuje na to da populacija produktivnih profesora, koja na početku broji samo njih 10, nije dovoljna da privuče uspešne studente da upišu taj univerzitet. U jednom momentu kada P postane dovoljno veliko vidimo da S takođe počinje da raste. Već u prvih nekoliko meseci vidimo značajan rast nivoa produktivnih profesora i nivoa uspešnih studenata. Primećujemo i da rast populacije uspešnih studenata malo zaostaje za rastom populacije produktivnih profesora, ali već nakon 4. godine uočavamo da su obe populacije postale 100% produktivne i ostaju održive u daljem periodu.

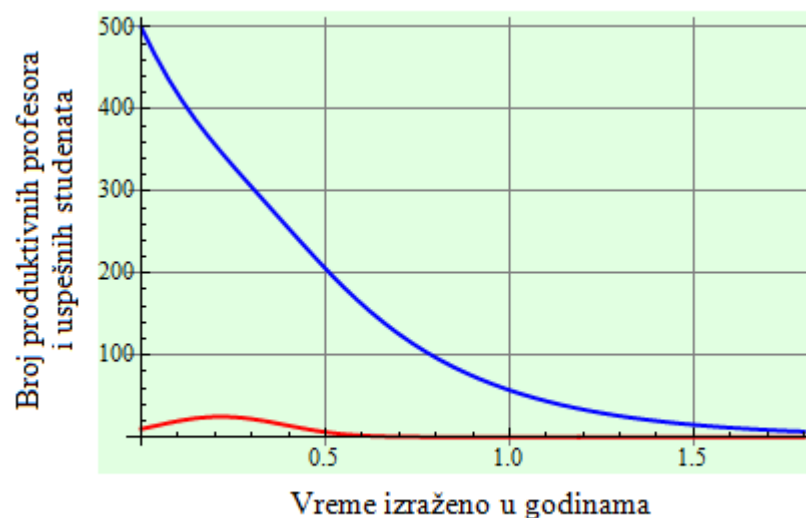
Ako uporedimo ovaj model sa našim početnim modelom, u kojem smo posmatrali samo populaciju profesora, videćemo da smo u njemu uočili sporije povećanje populacije produktivnih profesora.



Slika 5. Efekat održivog nivoa državnog finansiranja univerziteta na populaciju produktivnih profesora i uspešnih studenata

Slučaj 2. Smanjenje državnog finansiranja univerziteta

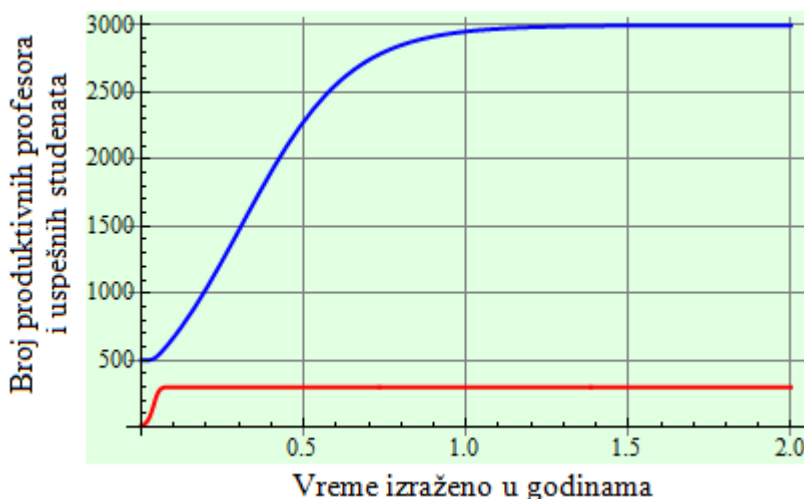
Grafik na slici 6 prikazuje efekat postepenog smanjenja državnog finansiranja, za 5%, tokom svake godine. Interesantno je uočiti da negativan uticaj smanjenja finansiranja je kompezovan smanjenjem uspešnih studenata. Model predviđa veoma mali početni rast populacije produktivnih profesora. Ovo povećanje je dovoljno da odloži eventualno smanjenje populacije produktivnih profesora za nekoliko meseci, ali u periodu između 6 meseci i godinu dana populacija produktivnih profesora opada brzo dok, u suštini, ne dostigne 0. Populacija studenata doživljava samo monotono smanjenje, jer populacija profesora nije u stanju da se izbori sa kritičnim pragom i uspe da ostvari rast, koji bi ujedno podstakao rast broja uspešnih studenata.



Slika 6. Efekat smanjenja državnog finansiranja, za 5% svake godine, na populaciju produktivnih profesora i uspešnih studenata

Slučaj 3. Povećanje državnog finansiranja univerziteta

Sa grafika na slici 7 uočavamo pozitivan efekat stalnog rasta državnog finansiranja, za 5% godišnje, na obe populacije. U ovom slučaju, rast produktivnih profesora i uspešnih studenata se značajno ubrzava u poređenju sa slučajem kada se državno finansiranje čini održivim. Produktivni profesori će predstavljati najmanje 90% od ukupne populacije, za nešto više od nekoliko nedelja, dok će 90% sudentke populacije biti uspešno nekoliko meseci nakon toga.



Slika 7. Efekat povećanja državnog finansiranja, za 5% svake godine, na populaciju produktivnih profesora i uspešnih studenata

Napomenućemo da sistem diferencijalnih jednačina, koji smo rešavali, u ovom modelu u svim slučajevima ima rešenje.

7.6 Jednačina modela tri populacije - profesora, studenata i industrije

U ovom poglavlju ćemo dodati još jednu populaciju u naš sistem jednačina, koja će nam omogućiti da modeliramo promene u vremenu, broja industrijskih mesta dostupnih u univerzitetskom regionu. Sa $H(t)$, u daljem tekstu H , ćemo obeležavati broj slobodnih radnih mesta u industriji, u regionu, u trenutku t . Kao što je navedeno šemom zavisnosti na slici 1, jednačine za P i S ostaju nepromenjene. To odražava pretpostavku da prisustvo industrije u univerzitetskom gradu ne utiče značajno na to da li je profesor produktivan ili da li uspešan student bira da pristupi tom univerzitetu. Sa druge strane, na osnovu onoga što je rečeno u poglavlju 3.3 pretpostavićemo da obe populacije, uspešnih studenata i dostupnih produktivnih profesora u regionu, koje su uključene u konsalting, će uticati na rast od H . Implicitna pretpostavka je da poslovi u industriji su oni koji zahtevaju fakultetsku diplomu i direktno su povezan sa univerzitetskim diplomiranim studentima.

Pored toga mi pretpostavljamo da H pozitivno utiče na broj drugih industrijskih radnih mesta, koja postoje u regionu, ali da postoji i zasićenje, H_T , za koje tržište više ne može da raste. Mi smo direktno spojili tačku zasićenja H_T sa populacijom u regionu, u ovom slučaju više od ukupnog broja profesora i studenata zajedno, tako da je:

$$H_T = m(P_T + S_T),$$

gde m predstavlja neku pozitivnu konstantu. Jednačina koja opisuje H data je sledećom formulom:

$$\frac{dH}{dt} = e_0 H \left(1 - \frac{H}{H_T} \right) \left(e_1 \frac{\beta P - P_T}{P_T} + e_2 \frac{\gamma S - S_T}{S_T} \right), \quad (10)$$

gde su e_0, e_1 i e_2 pozitivni parametri skaliranja iz intervala $(0,1)$. Član $e_0 H$ nam kaže da je H proporcionalno samom sebi (ako već postoje radna mesta u industriji u regionu, to samo može omogućiti povećanje industrijskih radnih mesta). Ovaj član se množi sa $1 - H/H_T$, koji kaže da ne može biti zasićenja na tržištu. To jest, jednom kada počnemo da se približavamo broju radnih mesta u region, H_T , nakon toga rast istih će usporiti i počće da opada. Poslednja dva člana, $(\beta P - P_T)/P_T$ i $(\gamma S - S_T)/S_T$ nam govore da ako populacija produktivnih profesora padne ispod vrednosti $1/\beta$ od ukupne vrednosti populacije profesora i ako populacija uspešnih studenata padne ispod vrednosti $1/\gamma$ od ukupne studentske populacije, to će imati negativan uticaj na rast broja industrijskih radnih mesta u regionu.

Za rešavanje sistema jednačina (5), (7) i (10) koristili smo kompjuterski program *Mathematica* 8.0.

7.7 Numerički primer modela sa tri populacije

Kao i u prethodnim poglavljima, sve numeričke vrednosti koje smo dodelili poznatim parametrima će ostati nepromenjene i za slučajeve koji su moguću u ovom modelu. Pored toga mi ćemo pretpostaviti da je početni broj radnih mesta u industriji dat sa:

$$H(0) = 1500. \quad (11)$$

Podsetimo se da smo počeli sa konzervativnim početnim uslovima. Ako region počne od kritičnog broja dobrih profesora i studenata, proces ekonomskog razvoja mogao bi započinjati rast godinama.

Dozvoljavaćemo da tržište rada raste dokle god je broj industrijskih pozicija tri puta veći od ukupnog broja univerzitetske populacije, dakle imamo da je:

$$H_T = 3(P_T + S_T). \quad (12)$$

Takođe, uzimamo da je:

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{5},$$

i da je:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{3}.$$

Ovo nam govori da ako populacija produktivnih profesora padne ispod 20% od ukupne populacije profesora i ako ukupna populacija uspešnih studenata padne ispod 33% ukupne studentske populacije, broj industrijskih radnih mesta u regionu će imati negativan ekonomski uticaj. Napominjemo da je naša populacija produktivnih profesora, sa početka, nešto veća od 3% od ukupnog broja profesorske populacije, dok je početna populacija uspešnih studenata nešto veća od 16% ukupne studentske populacije. To znači da u sakom slučaju očekujemo da vidimo početni pad od H , bar dok populacije uspešni studenata i produktivnih profesora ne ostvare značajniji rast.

Postavljanjem matematičkog modela izvršili smo indentifikaciju našeg problema. Možemo zaključiti da matematički model, koji smo opisali sa sistemom tri nelinearne diferencijalne jednačine prvog reda, opisuje sistem u nestacionarnom obliku, što implicira da je model dinamički. Poznavanje dinamičkog modela procesa koji predstavlja objekat upravljanja je vrlo važan za pravilan izbor i projektovanje elemenata sistema kako bi se postigao željeni kvalitet upravljanja. Značaj dinamike procesa je naročito porastao poslednjih decenija sa ekspanzijom računarske tehnike koja omogućava projektovanje vrlo složenih i sofisticiranih sistema upravljanja uz korišćenje računara. Pri projektovanju sistema, dobro poznavanje dinamike procesa je najznačajniji faktor.

Naš dinamički model prikazan je u vremenskom domenu u obliku sistema diferencijlnih jednačina i daje vezu između izlaznih promenljivih ili zavisno promenljivih (broj produktivnih profesora, uspešnih studenata i slobodnih radnih mesta u industriji) i vremena, kao nezavisne promenljive.

Definisali smo početne uslove za sve promenljive kao i vremenske promene ulaznih promenljivih, a zatim iteracijom dobili vremenske promene izlaznih promenljivih koje nam pokazuju ponašanje zadatog sistema.

Sistem diferencijalnih jednačina, koji opisuje naš problem, je sistem sa nagomilanim parametrima, jer su u njemu sve procesne veličine uniformne u celoj zapremini sistema i ne moraju se posmatrati njihove promene po prostornim koordinatama, tako da smo dobili da je vreme jedina zavisna promenljiva.

Model je kontinualni jer su sve promenljive stanja definisane za sve vrednosti vremenskih promenljivih.

7.7.1 Rezultati numeričkog primera za model tri populacije

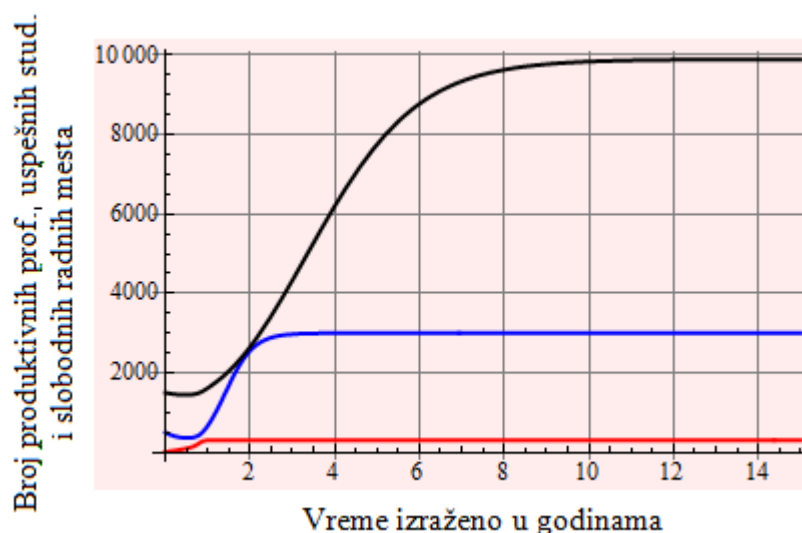
U ovom odeljku predstavljeni su numerički rezultati modela sistema jednačina za tri populacije, jednačine (5), (7) i (10).

Kao u prethodnim modelima analiziraćemo tri moguća slučaja:

1. Održavanje istog nivoa državnog finansiranja univerziteta tokom godina (u odnosu na inflaciju),
2. Smanjenje državnog finansiranja univerziteta, za 5% godišnje (u odnosu na inflaciju),
3. Povećanje državnog finansiranja univerziteta, za 5% godišnje (u odnosu na inflaciju).

Slučaj 1. Održivo državno finansiranje univerziteta

Sa grafika na slici 8 vidimo evoluciju tokom vremena u broju radnih mesta u industriji u regionu kada je državno finansiranje univerziteta održivo. Kao što se očekivalo, zbog postavljenih ograničenja, broj radnih mesta u industriji se u prvih 8 meseci smanjuje. Međutim, kada studentska i profesorska populacija počnu pozitivno da utiču jedna na drugu i pomenute populacije počnu da rastu, sledi i rast u industriji. Nakon 1. godine, populacija produktivnih profesora i uspešnih studenata počinju da rastu i u tom trenutku H počinje da se ponaša isto. Broj slobodnih radnih mesta dostiže maksimum u 14. godini, nakon čega ostaje održivo u preostalom periodu.

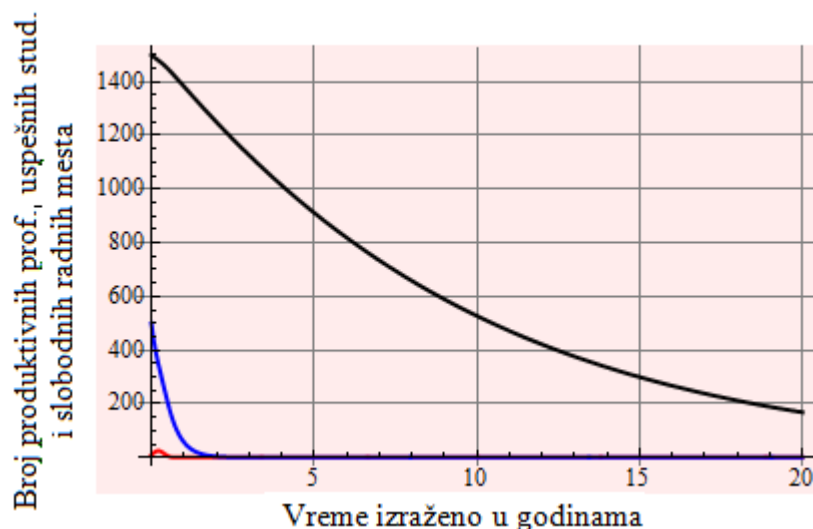


Slika 8. Efekat održivog nivoa državnog finansiranja univerziteta na populaciju produktivnih profesora, uspešnih studenata i broja radnih mesta u regionu

Slučaj 2. Smanjenje državnog finansiranja univerziteta

Efekat smanjenja državnog finansiranja može se videti na grafiku, na slici 9. Populacije profesora i studenata ponašaju se kao i ranije, što nije iznenađujuće, dok broj slobodnih radnih mesta u industriji postepeno opada. Kada populacije studenata i profesora dostignu svoje kritične vrednosti, to jest obe postanu potpuno neproduktivne i neuspešne broj slobodnih radnih

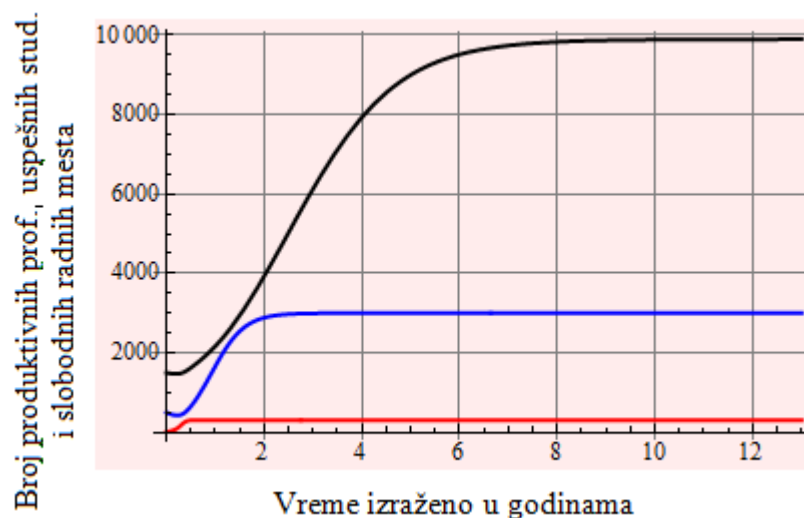
mesta u industriji, H , počinje brže da opada. Smanjenje državnog finansiranja usloviće da će H svoj kritično nizak nivo dostići posle 20. godine i nakon toga gotovo da nikad neće moći da se izbori sa svojom kritično niskom vrednosti.



Slika 9. Efekat smanjenja državnog finansiranja, za 5% svake godine, na populaciju produktivnih profesora, uspešnih studenata i broja radnih mesta u regionu

Slučaj 3. Povećanje državnog finansiranja univerziteta

Na grafiku koji je prikazan na slici 10 vidimo više optimizma. On odražava ishod u slučaju kada se državno finansiranje povećava, za 5% svake godine. Zanimljivo je uočiti kako razvoj industrije zaostaje za rastom produktivnih profesora i uspešnih studenata, ali ih i dalje prati. Povećano državno finansiranje omogućava da industrija u regionu cveta. Industrija je poletna, i do druge godine H će se udvostručiti u odnosu na vrednost iz prve godine, što možemo videti sa grafika. Svoj maksimum H dostiže u 13 godini i nakon toga ostaje održivo.



Slika 10. Efekat povećanja državnog finansiranja univerziteta, za 5% svake godine, na populaciju produktivnih profesora, uspešnih studenata i broja radnih mesta u regionu

Nakon navedenih slučajeva u kojima smo ispitivali uticaj državnog finansiranja, direktno na visokoobrazovanje i indirektno na region, analiziraćemo ravnotežu sistema pomoću njegove ravnotežne tačke.

Dakle, ukoliko je (x^*, y^*) tačka u ravni za koju važi da je istovremeno $f(x, y, t) = 0$ i $g(x, y, t) = 0$, gde su f i g proizvoljne diferencijalne jednačine, onda sledi da je $dx/dt = 0$ i $dy/dt = 0$. To u stvari znači da se ni jedna od tačaka x i y ne menjaju u tokom vremena, pa kažemo da sistem ima stacionarnu ili fiksnu tačku, koja se još naziva i tačka ekvilibrijuma. Nakon što utvrdimo da li sistem ima stacionarnu tačku sledeći korak je da utvrdimo da li je ta tačka stabilna ili nestabilna.

U nastavku ćemo navesti definiciju koja opisuje i klasifikuje ravnotežnu tačku u tri kategorije.

Definicija1:

- Stabilna ravnotežna tačka** - Ravnotežna tačka (x^*, y^*) koja zadovoljava uslov da je $f(x, y, t) = 0$ i $g(x, y, t) = 0$, je stabilna ako daje neku početnu vrednost (x_0, y_0) koja je blizu (x^*, y^*) . Ekvivalentno, ravnotežna tačka (x^*, y^*) je stabilna ako važi:

$$\forall \varepsilon > 0, \exists \delta > 0, \text{ tako da važi } |y_0 - y^*| < \delta \Rightarrow |f^n(y_0) - y^*| < \varepsilon, \forall n > 0.$$
- Asimptotski stabilna ravnotežna tačka** - Ravnotežna tačka (x^*, y^*) je asimptotski stabilna ako je (x^*, y^*) stabilna i postoji $\eta > 0$ tako da važi:

$$|y_0 - y^*| < \eta \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} y_t = y^*.$$

c) **Odbijajuća ravnotežna tačka** – Ravnotežna tačka je odbijajuća ako $\exists \varepsilon > 0$ tako da važi:

$$0 < |y_0 - y^*| < \varepsilon \Rightarrow |f(y_0) - y^*| > |y_0 - y^*|.$$

Za sistem nelinearnih diferencijalnih jednačina koji smo dobili u modelu potreban uslov za ravnotežu je sledeći:

$$\frac{dP}{dt} = \dot{P} = p(x, y, t) = 0$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{S} = s(x, y, t) = 0$$

$$\frac{dH}{dt} = \dot{H} = h(x, y, t) = 0$$

Rešenjem ovog sistema, pomoću kompjuterskog paketa *Mathematica* 8.0, dobijamo da je ravnotežna tačka ona u kojoj sve populacije dostižu svoje maksimalne vrednosti. Takođe koristeći se definicijom¹, zaključujemo da je ravnotežna tačka stabilna.

8. Preraspodela budžetskih sredstava univerzitetima

II matematički model

U ovom poglavlju govorićemo o primeni preformansi i uspeha zasnovanim na sistemu preraspodele budžeta za nastavu i istraživanje među univerzitetima u Severnoj Rajni Vestfaliji u Nemačkoj. Nakon preciznog opisa problema pokazaćemo kako su ciljno programiranje i minimiziranje rastojanja primenjeni i kako se pronalazi rešenje na osnovu realnih podataka.

8.1 Formulisanje problema

1996. godine Parlament države Severna Rajna Vestfalija zatražio je od Ministarstva za nauku i istraživanje da pokrene raspodelu budžeta namenjenom za nastavu i istraživanje među 15 državnih univerziteta. To je trebalo da se uradi u skladu sa specifičnim kriterijumima preformansi i uspeha i uz saglasnost univerziteta. Budžet za preraspodelu iznosio je 148,58 miliona nemačkih maraka i sadržao je 50% promenljivih finansijskih sredstava univerziteta dostupnih za nastavu i istraživanje, ali je isključio troškove za osoblje i opremu. Preraspodela je trebala da počne polako i u godinama koje slede planirano je da se obim budžeta kao i procenat preraspodele može povećavati, kada odgovorajuća iskustva u vezi preraspodele budu dostupna.

Ovo poglavlje govori o tome kako su problemi preraspodele budžeta tretirani od strane metoda operacionin istraživanja, koji koraci odlučivanja su preduzeti kako bi se utvrdilo konačno rešenje i koja saznanja su dobijena. Zaključićemo poglavlje sa nekim komentarima o meri u kojoj su učesnici bili zadovoljni postignutim rešenjem i koliko se korisnom smatra koncept preraspodele u odnosu na različite aspekte socijalne politike.

Različiti pristupi rešenjenima za racionalnu preraspodelu su predloženi u političkoj oblasti (Savezne Vlade, drugim državama i susednim zemljama Nemačke) kao i u drugim literaturama. Međutim ovi pristupi imaju nedostatke: neki nisu orjentisani odlukom, drugi su zasnovani na previše kriterijuma ili na kompleksnom sistemu indeksa, ili koriste funkciju raspodele i elastičnosti koju je teško odrediti ili izmeriti. Dakle, Ministarstvo za nauku i istraživanje, Severne Rajne Vestfalija, odbacilo je takve pristupe od samog početka iz praktičnih razloga. Osim toga u razgovoru sa univerzitetima Ministarstvo je pristupilo jednostavnom konceptu raspodele, koji se zasniva samo na nekoliko kriterijuma. Ovi kriterijumi treba da budu od značaja za društvo i takve prirode da se mogu oceniti korišćenjem težina, kao i da se mogu jednostavno meriti na osnovu podataka kojima raspolaže država. Rešenja koncepta preraspodele budžeta treba da daju dve važne informacije koje se koriste za određivanje rešenja:

- 1) težine za kriterijume preraspodele,
- 2) odstupanja od stvarne raspodele sredstava, koje proističu iz predloženog rešenja

Savet rektora 15 državnih univerziteta izneo je Ministarstvu predlog ciljnog programiranja zajedno sa konceptom udaljenosti norme, koji je potreban za donošenje odluka i koji bi ujedno obezbedio interaktivnost i željene informacije.

Problem preraspodele bi se mogao formulisati kao problem pregovora između više osoba, koji je formalno ekvivalentan problemu odlučivanja sa više kriterijuma. Cilj je bio da univerziteti uz dogovor sa Ministarstvom odrede vektor težina g koji je potreban za kriterijume preraspodele. Ovaj vektor i njemu srodan vektor $z(g)$ dobitaka i gubitaka u poređenju sa stvarnom dodelom sredstava treba da budu prihvaćeni od strane svih univerziteta, kao kompromisno rešenje za problem preraspodele. Takvo izvodljivo kompromisno rešenje je uvek Pareto-optimalno jer problem preraspodele je ustvari igra nulte sume.

Pregovarački proces je formalizovan u pogledu načina na koji je univerzitet predstavljen od strane vektora, i treba da donese svoje pojedinačne ideje za određivanje vektora težina u okviru Saveta rektora, a Ministarstvo deluje kao posrednik i ima politički mandat od Parlamenta da odbaci i potvrdi kompromis. Naravno, interesi u postupku preraspodele budžeta se razlikuju. Navešćemo neke interese, koji se javljaju u postupku preraspodele:

- (a) Svaki univerzitet preferira da mu se odobri vektor težina sa najvećim iznosom prilikom preraspodele ukupnog iznosa. Međutim, nije moguće istovremeno zadovoljiti sve pojedinačne interese, to jest nije moguće pronaći idealno rešenje, jer problem pregovora je problem preraspodele sa nultom sumom. Dakle, potrebno je pronaći kompromisno rešenje. U principu, rektori univerziteta predstavljaju svoje univerzitete, pri čemu traže kompromisno rešenje koje se neće suštinski razlikovati od stvarne raspodele. U slučaju dobijanja takvog rešenja izbeglo bi se smanjenje solidarnosti među univerzitetima, čak i u slučaju da ne dobije svaki univerzitet tražen vektor težina on neće imati prevelike gubitke. Ciljno programiranje zasniva se na adekvatnoj udaljenosti normi i odlično pokriva problem parcijalne preraspodele. Imajte na umu da ne postoje vektor težina koji generiše stvarnu raspodelu budžeta, jer u tom slučaju ne bi bilo problema minimiziranja rastojanja.
- (b) Ministarstvo snažno preferira vektor težina koji ističe značajnu ulogu studenata u njihovom prvom semestru osnovnih kurseva, a posebno broj diplomiranih studenata. Ova dva kriterijuma dozvoljavaju dostignuća i uspehe univerziteta kao akademske nastavne ustanove, a posebno za studente, kao korisnike tih usluga. Ministarstvo, međutim ne toleriše suviše velika odstupanja od stvarne raspodele. Proces preraspodele treba da počne polako i univerzitete ne treba da obeshrabre preveliki gubici prilikom preraspodele.

Procedura rešenja sastoji se od tri koraka interaktivnog uključivanja različitih interesa. U početku imamo pripremnu fazu, koja uključuje formulisanje problema preraspodele. Pored toga izračunate su maksimalne pojedinačne preraspodele univerziteta, sa odgovarajućim težinama i

srodnim dobitcima i gubicima istih. Na osnovu ovoga saznanja, rešenja su predložena u drugoj fazi u kojoj su stavovi univerziteta i ministarstva slični jedni drugima. U trećoj fazi, konačno je određena preraspodela budžeta od strane ministarstva u saglasnosti sa univerzitetima.

8.1 Opis situacije u kojoj se donosi odluka

Kriterijumi na kojima se zasniva preraspodela su unapred podešeni od strane Ministarstva, nakon razgovora sa Savetom rektora. Što se tiče nastave, kriterijumi za preraspodelu sredstava su bili sledeći:

- 1) Udeo akademskog osoblja zaposlenih na univerzitetu u odnosu na ukupno akademsko osoblje koje je zaposleno na svim državnim univerzitetima Severne Rajne Vestfalija,
- 2) Udeo broja studenata u prva četiri semestra u odnosu na ukupan broj studenata u prva četiri semestra na svim državnim univerzitetima. U slučaju organizovanja nastave na daljinu na FernUniversität uzet je u obzir i udeo polovine broja vanrednih studenata u prvih osam semestara u ukupnom broju istih na svim državnim univerzitetima. Dakle, vanredni studenti imaju dva perioda, redovnih studenata, jer se smatra da su oni dodatno opterećeni poslovnim obavezama,
- 3) Udeo broja diplomiranih studenata u odnosu na ukupan broj diplomiranih studenata na svim državnim univerzitetima, sa analognom modifikacijom konverzije broja vanrednih studenata, koja je navedena pod 2).

Pored navedenog, ustanovljene su neke modifikacije, koje ćemo navesti:

- c) Za izračunavanje članova populacije u 1) i 3) departmani društvenih i humanističkih nauka, prirodnih i tehničkih nauka su procenjeni u odnosu 2:5:5,
- d) U slučaju broj redovnih studenata premaši standardan broj studenata po semestru, broj ili proporcija redovnih studenata u 3) će biti smanjena u skladu sa tim,

Za registrovanje dostignuća u istraživanju preraspodela koriste se sledeći kriterijumi:

- 4) Udeo sredstava koje univerzitet prikuplja iz spoljnih donacija i fondova u ukupnim spoljnim donacijam i fondovima svih državnih univerziteta,
- 5) Udeo broja doktoranata koji su uspešno završili doktorske studije u ukupnom broju istih na svim državnim univerzitetima.

Ovim putem napravljene su dve izmene:

- d) Da bismo izračunali udeo iz 4), sredstva prikupljena van univerziteta određena su na osnovu promenljivih proseka u periodu od poslednje tri godine, a departmani humanističkih i društvenih nauka, prirodnih nauka i tehničkih nauka su ponderisani u

skladu sa svojim fondovima u odnosu 7:2:1. Ova podešavanja odgovaraju praksi Nacionalne fondacije za nauku Nemačke za davanje novca u svrhu istraživačkih projekata. Prema ovoj praksi tehničke nauke, na primer, dobijaju sedam puta više donacija u odnosu na humanističke i društvene nauke, što ukazuje da je za društvene nauke sedam puta teže da dobiju jednu marku iz spoljašnjih donacija nego za tehničke nauke.

f) Da bi izračunali proporciju uspešno završenih studenata doktorskih studija, departmani su ponderisani kao što je objašnjeno pod c).

Očigledno, kriterijumi 2) - 5) su kriterijumi učinka, dok kriterijum 1) izražava količinu zaliha. Razlog je taj što promenljiva sredstva za nastavu i istraživanje moraju biti nekako u vezi sa brojem naučnih zvanja na univerzitetima. Ekstremna preraspodela u kojoj istraživački radnik nema sredstva za nastavu i istraživanje nije poželjna. Osnovna situacija koja je ovde uvedena može biti opisana podacima u Tabeli 1. Kolona 1, je kolona sa nazivima univerziteta u Severnoj Rajni Vestfaliji, koji su uključeni u preraspodelu. Oni su obeleženi brojevima 1, ..., 15, u koloni 2. Kolone 3 – 7 sadrže udele a_{ij} , gde i predstavlja univerzitet a j kriterijum preraspodele, $j = 1, \dots, 5$, u skladu sa kriterijumima 1) – 5) i sa dodatnim objašnjenjima c) – f). Kolona 8 pokazuje B_i , zaokruženu na 10.000,00 maraka, što znači da i – ti univerzitet sam trenutno treba da obezbedi preraspodelu iz sopstvenog budžeta. Kolona 9 pokazuje odgovarajuću procentnu stopu P_i , i – tog univerziteta u odnosu na stvarnu raspodelu, $i = 1, 2, \dots, 15$.

Naponderisani parametri (%)							Aktuelna raspodela	
Univerziteti	Redni br.	Akademsko osoblje	Studenti	Diplomirani studenti	Spoljašnji fondovi	Doktoranti	Milioni DM	%
		a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}	B_i	$P_i = B_i/B$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aachen	1	13,46	10,30	15,33	15,40	20,34	20,44	13,76
Bielefeld	2	5,24	5,58	3,61	10,31	4,70	7,44	5,01
Bochum	3	10,66	8,74	8,84	11,17	10,95	15,16	10,21
Boon	4	9,89	9,18	11,89	12,96	15,95	17,20	11,58
Dortmund	5	8,61	8,52	7,70	5,00	7,26	10,28	6,92
Dusseldorf	6	4,51	5,42	2,88	4,70	5,94	5,97	4,02
Cologne	7	8,17	11,98	10,61	8,71	10,81	15,82	10,56
Munster	8	9,29	10,86	12,26	9,15	10,47	17,23	11,59
DSH Cologne	9	1,08	1,62	2,10	1,17	0,37	1,80	1,21
Duisburg	10	4,86	3,70	3,92	2,17	2,82	5,80	3,90
Siagen	11	5,97	5,56	5,00	3,23	3,12	7,39	4,97
Essen	12	6,03	5,49	6,34	3,68	2,40	7,79	5,24
Paderborn	13	4,60	4,00	3,72	4,04	2,02	6,04	4,07
Wuppertal	14	5,50	5,50	4,44	4,39	2,17	6,78	4,56
FU Hagen	15	2,13	2,56	1,36	3,92	0,66	3,43	2,31
Ukupno		100,00	100,01	100,00	100,00	99,98	148,58 = B	100,00

Tabela 1.

8.3 Formalan opis tri faze problema pregovora

8.3.1 Formulisanje problema i priprema za odluku

U ovom poglavlju ćemo formulirati problem preraspodele budžeta i objasniti pripremu koja sledi pre odluke za preraspodelu.

Neka je:

- a_{ij} – trenutni udeo i – tog univerziteta, $i = 1, 2, \dots, 15$ (kolone 1 i 2 u Tabeli 1) u odnosu na kriterijume preraspodele j , $j = 1, 2, \dots, 5$ (kolone 3 – 7 u Tabeli 1)

- $g = (g_1, g_2, g_3, g_4, g_5)'$, $0 \leq g_i \leq 1$, $j = 1, 2, \dots, 5$ i $\sum_{j=1}^5 g_j = 1$, je vektor težina koji predstavlja udeo svakog univerziteta, u odnosu na pet različitih kriterijuma preraspodele, u planiranom ukupnom udelu preraspodele budžeta.
- B_i - suma koju i - ti univerzitet mora sam da obezbedi iz sopstvenog budžeta za preraspodelu ukupnog iznosa (kolona 8), $i = 1, 2, \dots, 15$.
- $B = \sum_{i=1}^{15} B_i$ - ukupna preraspodela budžeta
- $z_i(g)$ - maksimalan neto iznos koji univerzitet želi da dobije preraspodelom, kada učestvuje u pregovorima o vektoru težina g , $i = 1, 2, \dots, 15$

Problem pregovora među 15 državnih univerziteta Severne Rajne Vestfalija može formalno biti opisan kao problem:

$$\max z(g) = (z_1(g), z_2(g), \dots, z_{15}(g))',$$

gde:

$$z_i(g) = \left(\sum_{j=1}^5 a_{ij} * g_j\right) * B - B_i, i = 1, 2, \dots, 15, \quad (I)$$

$$g \in G = \left\{ g \in \mathbb{R}^5 / 0 \leq g_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, 5 \text{ i } \sum_{j=1}^5 g_j = 1 \right\}$$

Ova formulacija problema je objašnjenja u poglavljima 8.1 i 8.2. Rešenje ovog problema nudi, zajedno sa težinama u skladu sa kriterijumima preraspodele, dobitke i gubitke preraspodele za univerzitete. Prema pojedinačnim interesima univerziteta, dobici se maksimiziraju, a gubici se minimiziraju. Svako moguće rešenje je Pateo optimalno, jer je preraspodela ustvari problem nulte sume.

Pojedinačna maksimalna rešenja $\hat{z}_i$ za odgovarajuće univerzitete dobijaju se iz 15 problema optimizacije:

$$\max_{g \in G} z_i(g) = \max\left(\sum_{j=1}^5 a_{ij} g_j\right) B - B_i = z_i(\hat{g}^1) = \hat{z}_i, i = 1, 2, \dots, 15. \quad (II)$$

Vektor $\hat{z} = (\hat{z}_1, \hat{z}_2, \dots, \hat{z}_{15})'$ predstavlja savršeno rešenje. Njegovo odstupanje od stvarne raspodele su prikazana u koloni 4, Tabele 2. Savršeno rešenje, kao i obično, nije izvodljivo pronaći zato što ima samo pozitivna odstupanja, koja su u konotaciji sa konstantnim iznosom pregovor, to jest ne postoji $g \in G$ takvo da $z(g) = \hat{z}$.

Idealno rešenje pokazuje gde se nalazi individualni maksimum raspodele svakog univerziteta, ako su težine dodeljene u skladu sa kriterijumima pri čemu odgovarajući univerziteti postižu maksimalan željeni nivo budžeta. Dakle, idealno rešenje može biti izabrano za početak procesa odlučivanja.

Na osnovu ove informacije zamena programiranja može biti formulisana u sledećem obliku:

$$\min_{g \in G} \|z(g) - \hat{z}\| = \left(\sum_{i=1}^{15} |z_i(g) - \hat{z}_i|^{1/q} \right), q \geq 1, \quad (\text{III})$$

što daje kompromisno rešenje za problem (I), koji se u odnosu na rastojanje normi nalazi što je moguće bliže individualnom maksimumu univerziteta prilikom preraspodele budžeta. Rešenje problema (III) je izračunato za $q = 2$, kao priprema za pregovore i prikazano je u kolonama 7 i 8, Tabele 2 u vidu apsolutnih i procentnih odstupanja u poređenju sa stvarnom raspodelom budžeta.

Ovaj pristup rešenju, primenom koncepta „idealnih rešenja“ odmah je odbačen od strane Saveta rektora i Ministarstva. Rešenje nije prihvatljivo kao kompromisno zbog marginalnih odstupanja i njihovih frekvencija. Neprihvatljivost rešenja se takođe ogleda u uslovima $\|z\|_1$ i $\|z\|_2$, koji su prikazani u koloni 7, Tabele 2, a koji ukazuje na sumu apsolutnih odstupanja i maksimalno apsolutno odstupanje u odnosu na početnu raspodelu. Pored toga, odgovarajući vektor težina $\hat{g}^{(2)}$ favorizuje samo istraživanje, što nije pogodno za univerzitete kao institucije nastavnog karaktera. Posebno bi to bilo neprihvatljivo ukoliko bi vektor težina bio takav da ne nagrađuje nastavu kao proces univerziteta to jest da je $\hat{g}_2^{(2)} = 0$, kao ni raspodelu sredstava na osnovu broja zvanja na univerzitetima, zato što je $\hat{g}_1^{(2)} = 0$

U vezi sa određivanjem idealnog rešenja vidi se da pet vektora težina g^l datih sa:

$$g_j^l = \begin{cases} 1 & \text{ako } j = l \\ 0 & \text{ako } j \neq l \end{cases} \quad l, j = 1, \dots, 5$$

u 15 problema optimizacije za određivanje individualnog maksimalnog rešenja za 15 univerziteta, optimalno rešenje se javlja tri puta za svaki univerzitet osim za g^3 . g^3 se javlja četiri puta, jer individualni maksimum za univerzitet Wuppertal je postignut za g^4 i za g^3 . Ovo sugerise da kompromisno rešenje za problem (I) se može videti u uniformnoj raspodeli glasova univerziteta za moguće komponente vektora težina. Na primer neka je vektor težina dat sa:

$$\tilde{g} = (0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2),$$

i neka bi on trebalo da bude izabran kao kompromisno rešenje za problem pregovaranja. Razlika odstupanja od stvarne raspodele za rešenje $\tilde{g}$ su prikazane u kolonama 5 i 6, Tabele 2, u apsolutnim i procentnim vrednostima. Što se tiče procentnog odstupanja ovog predloženog rešenja od stvarne raspodele budžeta, brzo postaje jasno zašto univerziteti ne vole da prihvataju $\tilde{g}$ kao kompromisno rešenje. Pet univerziteta bi izgubilo 10% od njihovog stvarnog budžeta, a dva univerziteta bi dobila 20%. Marginalno odstupanje od ovih veličina se nije pojavilo kako bi bilo prihvatljivo kao rešenje za univerzitete. Ministarstvo takođe nije bilo zainteresovano za

tako veliko razliku odstupanja. Pored toga Ministarstvo neće dozvoliti podjednako raspoređivanje vrednosti za vektor težina, jer političari favorizuju nastavne performanse, što je izreženo kriterijumima raspodele 2) i 3).

PRISTUPI	Aktuelna raspodela	Problem (II) - idealno rešenje	Jednaka raspodela	Problem (III) $q = 2$	Problem (IV) $q = 1$	Problem (IV) $q = 2$	Problem (IV) $q = \infty$	Problem (V)	Krajnja raspodela									
	$\exists g \in G$	$\exists g \in G$	$\tilde{g} = \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,2 \\ 0,2 \\ 0,2 \end{pmatrix}$	$\hat{g}^{(2)} = \begin{pmatrix} 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,1942 \\ 0,4305 \\ 0,3752 \end{pmatrix}$	$g^{(1)} = \begin{pmatrix} 0,0000 \\ 0,2614 \\ 0,5120 \\ 0,1746 \\ 0,0520 \end{pmatrix}$	$g^{(2)} = \begin{pmatrix} 0,0503 \\ 0,2647 \\ 0,4648 \\ 0,1720 \\ 0,0482 \end{pmatrix}$	$g^{(3)} = \begin{pmatrix} 0,1546 \\ 0,1348 \\ 0,5051 \\ 0,2045 \\ 0,0000 \end{pmatrix}$	$g^{(1)} = \begin{pmatrix} 0,0000 \\ 0,2598 \\ 0,5806 \\ 0,1596 \\ 0,0000 \end{pmatrix}$	$g^s = \begin{pmatrix} 0,20 \\ 0,20 \\ 0,35 \\ 0,20 \\ 0,05 \end{pmatrix}$									
Devijacija iz kolone 3																		
Univerziteti	Redn i br.	Mili. DM	Mili. DM	%	Mili. DM	%	Mili. DM	%	Mili. DM	%	Mili. DM	%	Mili. DM	%	Mili. DM	%	Mili. DM	%
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Aachen	1	20,44	9,78	1,80	8,80	5,18	25,32	0,79	3,88	0,60	2,92	0,92	4,51	0,42	2,03	0,68	3,31	
Bielefeld	2	7,44	7,88	1,31	17,63	2,82	37,91	0,51	6,90	0,61	8,23	0,73	9,86	0,28	3,70	1,11	14,87	
Bochum	3	15,16	1,43	-0,20	-1,32	0,64	4,19	-1,30	-8,58	-1,19	-7,84	-0,92	-6,08	-1,52	-10,00	-0,66	-4,37	
Boon	4	17,20	6,49	0,59	3,40	3,41	19,80	0,00	0,00	-0,19	1,12	-0,22	-1,27	-0,33	-1,93	-0,31	-1,81	
Dortmund	5	10,28	2,52	0,74	7,25	-0,81	-7,88	0,75	7,28	0,83	8,09	0,72	6,99	0,84	8,17	0,84	8,14	
Dusseldorf	6	5,97	2,85	0,99	16,64	1,17	19,66	0,00	0,00	0,11	1,83	-0,26	-4,30	-0,28	-4,74	0,31	5,20	
Cologne	7	15,82	1,98	-0,88	-5,55	-1,16	-7,33	0,00	0,00	-0,17	-1,08	-0,92	-5,83	0,02	0,15	-0,92	-5,79	
Munster	8	17,23	0,99	-1,76	-10,24	-2,00	-11,60	-0,50	-2,89	-0,71	-4,10	-0,92	-5,83	-0,29	-1,67	-1,37	-7,97	
DSH Cologne	9	1,80	1,32	0,08	4,47	-0,24	-13,47	0,76	41,89	0,69	38,27	0,70	38,27	0,91	50,52	0,43	23,59	
Duisburg	10	5,80	1,42	-0,61	-10,48	-1,71	-29,46	-0,60	-10,34	-0,52	-8,93	-0,33	-5,75	-0,47	-8,19	-0,36	-6,23	
Siagen	11	7,39	2,36	-0,29	-3,97	-2,14	-28,98	0,04	0,55	0,14	1,86	0,04	0,52	0,22	3,00	0,13	1,74	
Essen	12	7,79	1,63	-0,68	-8,71	-2,27	-29,15	0,30	3,89	0,31	3,95	0,58	7,41	0,67	8,58	0,20	2,58	
Paderborn	13	6,04	0,79	-0,58	-9,61	-1,26	-20,83	-0,45	-7,53	-0,38	-6,28	-0,16	-2,62	-0,33	-5,48	-0,20	-3,36	
Wuppertal	14	6,78	1,39	-0,24	-3,56	-1,48	-21,83	0,04	0,61	0,14	2,04	0,26	3,84	0,22	3,18	0,26	3,89	
FU Hagen	15	3,43	2,39	-0,28	-8,02	-0,17	-4,85	-0,34	-9,83	-0,28	-8,16	-0,22	-6,33	-0,34	-10,00	-0,12	-3,52	
	$\ z\ _1$	0,00	45,23	11,03	-	45,26	-	6,39	-	6,86	-	7,90	-	7,14	-	7,90	-	-
	$\ z\ _2$	0,00	9,78	1,80	-	5,18	-	1,30	-	1,19	-	0,92	-	1,52	-	1,37	-	-

Tabala 2 Varijante rešenja za problem pregovaranja

8.3.2 Predlog rešenja

Što se tiče kritičkih aspekata u vezi rešenja za problem preraspodele, koji su obrađeni u poglavlju 8.3.1 Ministarstvo i Savet rektora nastojali su da pronađu kompromisno rešenje za problem (I), to jest da pronađu rezultate preraspodele koji bi bili „što je bliže moguće“ stvarnoj raspodeli. Formalno, ponašanje ovih pregovora se svodi na sledeći problem optimizacije:

$$\min_{g \in G} \|z(g)\|_q, \quad q \geq 1. \quad (IV)$$

Ova zamena programiranja ima apsolutni minimum za sve $q \geq 1$, ako postoji vektor težina $g^0 \in G$ za koji $z_i(g^0) = 0$, za sve $i = 1, 2, \dots, 15$. $z(g^0) = (0, \dots, 0)'$ bi mogao biti interpretiran kao konzervativno rešenje. Ovaj vektor težina ne bi bio prihvatljiv za Ministarstvo, kao zastupnika javnog interesa, dok sa druge strane ne postoji takvo $g^0 \in G$. To znači da sa važećim vrednostima parametara za kriterijume preraspodele aktuelna raspodela ne može biti generisana odgovarajućim vektorom težina. Sistem jednačina sa vrednostima datim u kolonama 3 – 7, Tabele 1, kao koeficijentima i vrednostima u koloni 9, Tabele 1, koja predstavljaju desnu stranu jednačine sasvim je prirodno da ne sadrži rešenje. To formalno znači da ne postoji $g \in G$ sa:

$$\begin{aligned} A g &= P, \\ A &= (a_{ij}), i = 1, \dots, 15, j = 1, \dots, 5, \\ P &= (P_1, P_2, \dots, P_{15})'. \end{aligned}$$

Da bi generisali koordinate za realna rešenja problem preraspodele (IV) je sada rešen za $q = 1, q = 2$ i $q = \infty$. Za $q = 1$ i $q = 2$ pristup ciljnog programiranja je primenjen za izradu rešenja. Ovo se takođe može koristiti za $q = \infty$, na primer za problem:

$$\min_{g \in G} \max_i |z_i(g)|, \quad i = 1, \dots, 15. \quad (IV')$$

Rezultati ovih pristupa su prikazani u kolonama 9 – 14, Tabele 2, u njihovim apsolutnim i relativnim razlikama odstupanja od stvarnog budžeta. Poređenjem procentnih vrednosti u kolonama 10, 12 i 14 sa onima u koloni 6, Tabela 2, pokazano je direktno da sa razlikom odstupanja za univerzitete u odnosu na aktuelnu raspodelu u celini postoje manje procentne stope. Ovim možemo predvideti da će Deutsche Sporthochschule ($i = 9$) biti izuzetak u pogledu preraspodele, jer ima najmanji budžet, međutim univerzitet Bochum ($i = 3$) ima najveći gubitak, a univerzitet Paderborn će imati neočekivano najveći dobitak.

Suma:

$$\sum_{i=1}^{15} |z_i(g)|$$

i maksimalno odstupanje:

$$\max_i |z_i(g)|, i = 1, \dots, 15,$$

za vektor težina g^3, g^2 i g^∞ kao i rešenje problema za problem optimizacije (IV) sa $q = 1, 2$ i ∞ su značajnije manji nego iste te vrednosti za $\tilde{g}$, to jest vektor sa jednakom raspodelom težina. To se može videti u poslednje dve kolone Tabele 2, a važi sledeće:

$$\|z(g^{(1)})\|_1 < \|z(g^{(2)})\|_1 < \|z(g^{(\infty)})\|_1 < \|z(\tilde{g})\|_1,$$

$$\|z(g^{(\infty)})\|_\infty < \|z(g^{(2)})\|_\infty < \|z(g^{(1)})\|_\infty < \|z(\tilde{g})\|_\infty.$$

Ršenje $z(g^{(2)})$ je smešteno između rešenja $z(g^{(1)})$ i $z(g^{(\infty)})$. To se lako može videti u apsolutnim i procentnim razlikama odstupanja u odnosu na stvarni raspodelu budžeta, rešenje $z(g^{(2)})$ se čini mnogo umerenija nego $z(\tilde{g}^2)$. Kasnije, ovo kompromisno rešenje treba da bude od posebnog interesa za određivanje konačne preraspodele.

Dodatne modifikacije naime ograničavaju gubitak razlike za univerzitete sa fiksnom procentnom stopom α putem dodatnih ograničenja i teško dovodi do bilo koje promene rešenja za $0,1 \leq \alpha \leq 1$. S druge strane za $\alpha < 0,058$ prstor rešenja je prazan, na primer ako su obavezne preraspodele koje donose manje od 5% gubitka za sve univerzitete koji učestvuju u vezi sa početnom raspodelom, onda ne postoji rešenje $g \in G$.

Osim toga, interesantno je da zbog toga $g_1^{(1)} = 0$ i $g_5^{(\infty)} = 0$ u ova dva problema optimizacije oblika (IV) za $q = 1$ i ∞ proporcije radnih mesta za akademsko osoblje i proporcija uspešno završenih doktorskih studija u drugom slučaju su irelevantne za raspodelu. Obe ove činjenice Ministarstvo ne bi prihvatilo. Međutim u ovoj fazi odlučivanja, Ministarstvo privremeno tvrdi da se u preraspodeli koncentriše na kriterijume 2) i 3) sa odgovarajućom raspodelom za težinske komponente. Ovim putem uz poštovanje diskutovanih rešenja, procenat gubitka ne bi trebao da bude veći od $\alpha = 10\%$. Varijante rezultata ovog problema su:

$$\begin{aligned} & \max g_2 + g_3, \\ & z(g) \geq -\alpha \tilde{B}, \alpha = 0,1, \\ & g \in G, \tilde{B} = (B_1, B_2, \dots, B_{15})', \end{aligned} \tag{V}$$

što je interesantno zbog uticaja na rešenje pregovora koji proizilaze iz delovanja Ministarstva kao moderatora, a prikazani su kako u apsolutnim tako i u procentnim vrednostima u kolonama 15 i 16, Tabela 1. Odgovarajući vektor rešenja iz prostora težina $\bar{g} \in G$ ima iznenađujuće nula vrednosti u prvoj i poslednjoj komponent, a slični rezultati važe i za vektore težina $g^{(1)}$ i $g^{(\infty)}$. Dakle, Ministarstvo nije želelo da implementira ovu varijantu rešenja zbog navedenih kritičnih aspekata, mada kriterijumi preraspodele 2), 3) i 4) imaju težine približne sledećim vrednostima $\bar{g}_2 = 0,26$, $\bar{g}_3 = 0,58$ i $\bar{g}_4 = 0,16$ i stavlja se veći naglasak na kriterijume preraspodele favorizovane u političkim i javnim diskusijama.

8.3.3 Uspostavljenje rešenja problema preraspodele

Nakon diskusije između univerziteta i ministarstva i uvažavanjem rešenja $g^{(2)}$, ministarstvo osniva u poslednjoj fazi odluke, u saglasnosti sa univerzitetima finalnu raspodelu, apsolutne i procentne razlike odstupanja koje su prikazane u kolonama 17 i 18, Tabela 2. Poređenjem sa varijantom problema (IV) za $q = 2$, iznenađujuće je da za finalnu raspodelu suma odstupanja i maksimalno odstupanje su lošiji, pa je:

$$\|z(g^{(S)})\|_1 > \|z(g^{(2)})\|_1 \text{ i } \|z(g^{(S)})\|_\infty > \|z(g^{(2)})\|_\infty.$$

Pored toga, težišne komponente g_2^S i g_3^S imaju značajno manje vrednosti nego $g_2^{(2)}$ i $g_3^{(2)}$. Dakle, iz univerzitetske i ministarske tačke gledišta izgleda racionalnije da preferiraju rešenje $g^{(2)}$ za rešenje g^S . Konačno, sledeća argumentacija za dva razloga Ministarstva su bila odlučujuća za utvrđivanje konačne raspodele g^S : težine za kriterijume preraspodele u nastavi su najbolje uravnoteženi i najlakši za razumevanje i novoosnovani i politički favorizovani univerziteti $i = 10, 11, \dots, 15$ gube mnogo manje novca nego takozvani klasični i neoklasični univerziteti $i = 1, 2, \dots, 9$.

8.3.4 Komentari na koncept preraspodele

Rešenje postupka, pronalaženje rešenja od strane učesnika, pristup rešenju, kao i konačno uspostavljeno rešenje preraspodele i odgovarajući vektor težina su sve u svemu u značajnoj meri prihvaćeni od strane političara i univerziteta Severne Rajne Vestfalija. Razmišljanja nekoliko univerziteta da rade sa preformansama orjentisane preraspodele budžeta zasnovane na principu alternativnog pojma "harmonijska sredina", odgovarajućih odnosa ili primenom proširivanja skupa kriterijuma preraspodele su odbijeni od strane Ministarstva i većine univerziteta.

Takođe zamerke nisu tačne da s jedne strane, uspeh u istraživanju dobija suviše niske težine koeficijente u poređenju sa onima u koji se dodeljuju procesu nastave. Sa druge strane kriterijumi procenta uspešno završenih doktorskih studija posebno je loše tertian sa težinskim koeficijentom od samo 5%.

Uspostavljeno ponderisanje je u velikoj meri zadržano i za preraspodele u narednim godinama. U periodu od 1997. do 1999. godine obim preraspodele budžeta i kamatna stopa preraspodele povećane su uz saglasnost univerziteta. Postoje očigledne indicije da su svi pregovarači bili zadovoljni sa konačno uspostavljenim ponderisanjem u vezi sa kriterijumima preraspodele. Promenljive za računovodstvenu opremu i biblioteke su dodate preraspodeli sredstava. Istovremeno, kamatna stopa preraspodele je povećana sa 50% na 70%. U međuvremenu su univerziteti usmerili svoje aktivnosti na ispunjavanje kriterijuma.

Pored toga, ministarstva i druge Nemačke države su pregovarale sa svojim univerzitetima da bi trebalo da usvoje rešenje za preraspodelu budžeta onakvo kakvo je uspostavljeno u Severnoj Rajni Vestfalija. Neki političari imali su prigovor na efekte koji su određeni konceptom preraspodele, koji su trebali da se pokažu istinitim, to jest uspešnim.

Nemački univerziteti su finansirani, uz poštovanje kadrovskih resursa, isto za poslednjih 10 godina, pri čemu se istovremeno suočavaju sa strahovito većim brojem studenata. Dakle, bilo je prigovora da preraspodela sa nultom sumom budžeta neće nagraditi uspehe univerziteta u budućnosti, već će radije preraspodeljivati nedostatke i neće stvoriti podsticaje. Pored toga, dugoročne studije ukazuju na to da bi status studeta bio društveno nepovoljan, jer univerziteti neće imati nagradu vezanu za propociju uspešno diplomiranih studenata, pa samim tim ne mogu imati ni automatski pozitivan efekat na motivaciju svojih studenata, kako bi diplomirali brzo i uspešno. Na kraju, važno je naglasiti da nagrađivanje proporcije studenata u prvom semestru studija ne bi uspelo da prepozna prisutne probleme nezaposlenosti nemačkih diplomaca.

9. Preraspodela budžeta univerziteta u odnosu na status kvo

III matematički model

Budžet univerziteta se raspoređuje proporcionalno na osnovu pet ciljnih kriterijuma. Pristup je implementiran u nekoliko modela i primenjen na 15 državnih univerziteta države Severna Rajna Vestfalija. U ovom poglavlju, problem je razmatran sa stanovišta opštih tehnika za izgradnju funkcije cilja za procenu alternativnih stanja.

Formulisaćemo tri modela, sa ciljem što boljeg poštovanja statusa kvo. Ti modeli su: model sa minimiziranjem apsolutnih promena aktuelnog budžeta, model sa minimiziranjem relativnih promena aktuelnog budžeta i model sa minimiziranjem promena pojedinih pravila za računovodstvo budžeta. Modeli su bazirani na linearnim i kvadratnim funkcijama cilja, koje će biti analizirane u odnosu na nekoliko osnovnih pretpostavki: o lokalnoj monotonosti, globalnoj monotonosti, konveksnosti i konkavnosti.

9.1 Uvod u problem preraspodele

Nedavna ciljna programiranja bazirana na rastojanju normi uspešno su primenjena na probleme prerspodele. Pod svim prirodnim pretpostavkama, kao što je rečeno i u prethodnom poglavlju, prerspodelu možemo shvatiti kao pregovore između više ljudi, a ti pregovori se mogu podeliti prema nekoliko kriterijuma odlučivanja. Takav pristup se koristi za upravljanje akademskim institucijama, odnosno tačnije za prerspodelu budžeta univerziteta.

Konkretno, Fandel i Gal (2001) su imali predlog da se budžet univerziteta preraspodeli srazmerno u odnosu na pet ciljnih kriterijuma. Pristup je implementiran u nekoliko modela i primenjen na 15 državnih univerziteta pokrajne Severna Rajna Vestfalija u Nemačkoj, što je detaljno obrađeno u prethodnom poglavlju.

Pristup prerspodele budžeta koristi sledeće principe:

- 1) **Sistem zasluge.** Kod ovog principa raspodela budžeta univerzitetima se vrši na osnovu zasluga univerziteta, uz poštovanje:
 - a) *pravičnosti*: svi univerziteti se ocenjuju na osnovu istih pravila,
 - b) *pravila za evaluacije*: univerziteti se ocenjuju pomoću linearne funkcije cilja u pet referentnih indeksa (ciljnih promenljivih),
 - c) *proporcionalnosti zasluge i udela u budžeta*: udeli univerziteta u ukupnom budžetu su direktno proporcionalne njihovoj korisnosti ocenjenoj pomoću određene funkcije cilja.
- 2) **Teorija greške pristupa.** Ova teorija pretpostavlja da postoje određeni racionalni argumenti, koji su rezurtirali raspodele stvarnog budžeta. Čak i ako to nije slučaj,

određeno pravilo se može pronaći, pretpostavljajući da su aktuelni budžeti neprecizne manifestacije nekog nepoznatog pravila:

- a) *Apriori znanje*: uloga budžetskog računovodstva je ograničena u određenom obliku (na primer pomoću linearne funkcije cilja sa ciljnim promenljivama),
 - b) *Random greške*: odstupanja aktuelnog budžeta od pravilom propisanih cifara se smatraju slučajnim greškama, sa nula značenjem,
 - c) *Maksimalna verovatnoća procene za pravilo izbora parametara*: opšte pravilo je podešeno u skladu sa aktuelnim budžetom, sa ciljem smanjenja ukupne greške.
- 3) **Princip statusa kvo**. Po ovom principu novi budžet mora biti veoma blizu aktuelnog budžeta. On odražava pridržavanje racionalnih argumenata, koji vraćaju distribuciju aktuelnog budžeta. Cilj je da se argumenti ne menjaju, ali da se naprave transparentnim, odnosno, cilj je da se eksplicitno uvedu „pravila igre“. Ako je potrebno pravila se mogu poboljšati, ali u svakom sličaju ona prvo moraju biti realizovana. U odnosu na status kvo realizuje se prilagođavanje pravila distribucije aktuelnog budžeta.
- a) *Absolutna ili relativna razlika između aktuelnog i novog budžeta*. Treba imati na umu da je isti iznos novca različit po značaju za male i velike univerzitete. Fandel i Gal su razmatrali uklapanje veze preraspodele sa apsolutnim brojkama (sume preraspodele),
 - b) *Razlika između budžetskih raspodela*. Razlika između dve distribucije budžeta, kao dva finansijska programa se može posmatrati kao razlika između dva vektora čije su koordinate individualni budžeti univerziteta,
 - c) *Optimalna uklapanja*. Nova raspodela budžeta mora biti što je moguće bliže aktuelnom budžetu. To jest, vektor novog budžeta mora biti blizu vektora aktuelnog budžeta u odnosu na odgovarajuće kriterijume izbora.

U ovom poglavlju, izvešćemo tri dodatna linearna modela čiji je cilj maksimalno poštovanje statusa kvo, kao i njihove kvadratne analogone. U skladu sa tim, navodimo manje modifikacije nekih od gore navedenih principa.

U poglavlju 9.2, „Prototip modela“, uvedene su oznake i definicije kao i Model (IV) Fandela i Gala (2001), iz prethodnog poglavlja, koji je formulisan u kontekstu oznake **(IA)** - **linearni model sa minimiziranjem apsolutnih promena**. Model omogućava da pronađemo racionalne, zasnovane na principima, raspodele budžeta, koje će biti najpribližnije aktuelnom budžetu. Budžeti univerziteta se proporcionalno obračunavaju u skladu sa njihovom zaslugom i procenjenom linearnom funkcijom cilja izreženom u univerzitetskim referentnim indeksima. Koeficijenti funkcije cilja su određeni modelom koji optimalno odgovara funkciji cilja aktuelnog budžeta univerziteta.

U poglavlju 9.3, „Racionalizacija statusa kvo sa minimiziranjem apsolutnih promena“, modifikujemo pomenuti Model (IV). Predlažemo da se razmotri linearna funkcija cilja sa stalnim uslovima, čime dobijamo veći stepen slobode za uklapanje modela, a to će ujedno podrazumevati preciznije aproksimacije statusa kvo. Na taj način dobijamo model koji ćemo označavati sa **(LA) - linearni model sa minimiziranjem apsolutnih promena**. Gde veliko L označava model sa prekidima u funkciji cilja.

U poglavlju 9.4, „Racionalizacija statusa kvo sa minimiziranjem relativnih promena“, predlažemo dodatnu reviziju Modela (IV). Razlika ovog modela u odnosu na naš početni model je ta što se novi budžet priprema u skladu sa aktuelnim budžetom uz minimiziranje relativnih umesto apsolutnih promena budžeta. Osnovna ideja je da se isti iznos novca iz budžeta raspoređuje drugačije u pogledu malih i velikih univerziteta. Shodno tome, odstupanja od statusa kvo bi trebala da budu izražena u relativnim brojkama. Ova ideja je implementirana u model **(LR) - linearni model sa minimiziranjem relativnih promena**.

U poglavlju 9.5, „Racionalizacija statusa kvo u odnosu na pojedinačna pravila“, predlažemo alternativnu polaznu tačku za međuuniverzitetske pregovore pretpostavljene u Modelu (II) Fandela i Gala (2001). Model (II), iz prethodnog poglavlja, pretpostavlja da svaki univerzitet polazi od najvećeg mogućeg budžeta, koji se može postići po nekom određenom pravilu, a koje je najpovoljnije za dati univerzitet. Razlike u odnosu na naš model je ta što svaki univerzitet, u ovom slučaju, polazi od pravila za raspodelu budžeta opravdavajući svoj aktuelni budžet. Drugim rečima, mi pretpostavljamo da svaki budžet univerziteta je izračunat po nekim određenim pravilima, za dati konkretan slučaj. Otkrivamo koja su ta pojedinačna pravila i skupljamo ih u jedan skup pravila. Uklapanje se vrši u domenu računovodstvenih pravila, a ne u domenu distribucije budžeta. Ovde, status kvo poštuje zakonodavstvo pre nego nivo realizacije. Ovaj tok misli je implementiran u model **LI - linearni model u odnosu na individualna pravila**.

U poglavlju 9.6, „Racionalizacija statusa kvo sa kvadratnom funkcijom cilja“, linearna funkcija cilja za ocenu univerziteta je zamenjena sa opštijim kvadratnom funkcijom. Imamo tri razloga za to:

1. Linearne i kvadratne funkcije se mogu posmatrati, respektivno, kao funkcije prvog i drugog red Tejlоровog razvoja nepoznate funkcije cilja. Shodno tome kvadratna funkcija obezbeđuje:
 - a) tačniju aproksimaciju funkcije cilja u celini,
 - b) bolje uklapanje stvarnom budžetu,

što znači veće poštovanje statusa kvo u odnosu na linearnu funkciju cilja.

2. Može se zahtevati da kvadratna funkcija bude konkavna, što predstavlja konveksnu prednost sa samnjenjem marginalnih stopa supstitucije. Takva funkcija cilja diskriminiše odstupanja od osnovnih razmera izreženih u univerzitetskim indeksima (na primer, linearna funkcija cilja omogućava da se zadrži određeni budžet univerziteta kompezujući smanjenje broja studenata rastom akademskog osoblja, takva mogućnost uklonjena je pomoću kvadratne funkcije cilja). Ovde princip statusa kvo treba shvatiti kao očuvanje postojećih odnosa indeksa univerziteta.
3. Može se zahtevati da kvadratna funkcija bude konveksna, što predstavlja konkavnu prednost sa povećanjem marginalnih stopa transformacije. Takva funkcija toleriše zatada smanjenje od ulaganja u najbolje univerzitete (konveksnoj funkciji cilja odgovara veća prednost osetljivosti na višim nivoima korisnosti. Pomoću primera to bi mogli ilustrovati na sledeći način, da odaberemo deset najboljih pesama od sto, je lakše nego da od dvadeset poslednjih, koje su sve podjednako loše biramo deset). Na taj način konveksna funkcija cilja stavlja u privilegovan položaj najbolje univerzitete i na neki način ih štiti od prosečnosti.

Zamena linearne funkcije cilja u Modelima (IA) , (LA) , (LR) i (LI) sa kvadratnom funkcijom cilja daje njihove kvadratne analogije (qA) , (QA) , (QR) i (QI) , gde q i Q ukazuju na kvadratne funkcije cilja sa ili bez prekida, respektivno.

Za razliku od linearne funkcije, kvadratna funkcija cilja može biti nemonotona, nekonveksna i nekonkavna što može da stvori probleme u tumačenju kao i optimizaciju istih. U početku smo ograničili da kvadratne funkcije budu globalno monotone, to jest da ne opadaju tokom celog domena. Dobijamo modele (qMA) , (QMA) , (QMR) i (QMI) , gde veliko M označava globalnu monotonost.

Globalna monotonost, kao ograničenje, pogoršava podesnu tačnost. Dakle, napravićemo ovo ograničenje slabijim, ograničavajući kvadratnu funkciju cilja da bude lokalno monoton, to jest neopadajuća u domenu nekoliko puta manja od originalne, gde su smešteni budžeti univerziteta. Tako dobijamo modele (qmA) , (QmA) , (QmR) i (QmI) , gde malo m označava lokalnu monotonost.

Na kraju ograničavamo kvadratnu funkciju cilja da bude konkavna ili konveksna. Sa ovim ograničenjima dobijamo nove modele koje ćemo označavati sa $(qmCA)$, $(QmCA)$, $(QmCR)$ i $(QmCI)$ (gde veliko C označava konkavnost), kao i modele $(qmVA)$, $(QmVA)$, $(QmVR)$ i $(QmVI)$, gde veliko V označava konveksnost.

U poglavlju 9.7, „Zaljučak“, rezimiramo glavne rezultate i zaključke poglavlja.

9.2 Prototip modela

Razmatramo 15 državnih univerziteta to jest njihove indekse, Severne Rajne Vestfalija, $i = 1, \dots, 15$, sa ukupnim godišnjim budžetom B , vidi Tabelu 1.

Raspodela budžeta biće prikaza pomoću vektora $\mathbf{b} = \{b_i\}_{15}$, čije su komponente b_i udeli budžeta univerziteta u ukupnom budžetu, takvi da je:

$$\sum_{i=1}^{15} b_i = 1, b_i \geq 0, i = 1, \dots, 15 \quad (1)$$

gde je budžet i -tog univerziteta:

$$B_i = b_i B.$$

Koristićemo se vrednostima, odnosno Tabelom 1. Iz prethodnog poglavlja.

Budžet i -tog univerziteta je određen vektorom dimenzije (5×1) , $x_i = (x_{i,1}, \dots, x_{i,5})' \in \mathbb{R}^5$

sa pet ciljnih ideksa indeksiranih sa j :

x_{i1} – udeo i -tog univerziteta u ukupnom akademskom osoblju,

x_{i2} – udeo i -tog univerziteta u ukupnom broju redovnih studenata,

x_{i3} – udeo i -tog univerziteta u ukupnom broju diplomiranih studenata,

x_{i4} – udeo i -tog univerziteta u ukupnom iznosu spoljašnjih subvencija,

x_{i5} – udeo i -tog univerziteta u ukupnom broju studenata koji su uspešno završili doktorske studije.

Skup mogućih ciljnih vektora $\mathbf{x} = \{x_j\}_5$, $0 \leq x_j \leq 1, j = 1, \dots, 5$, je određen sa X (naš vektor sadrži dimenzionalnost koja u modelima, koje treba razmotriti, može da varira i stoga je koristan). Pretpostavka da su svi ciljni indeksi udeli (ne pravimo razliku između procenta i odgovarajućeg udela) znači da:

$$\sum_{i=1}^{15} x_{ij} = 100\% = 1, x_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, 15, j = 1, \dots, 5 \quad (2)$$

Raspodela budžeta $\hat{\mathbf{b}} = \{\hat{b}_i\}_{15}$ je racionalna ako su udeli budžeta $\hat{b}_i$ proporcionalni ocenjenim zaslugama univerziteta od strane neke osnovne funkcije cilja $f(\mathbf{x})$ (funkcija cillja iz određene klase) takve da važi:

$$f(\mathbf{x}) \geq 0 \text{ za sve } \mathbf{x} \in X, \quad (3)$$

$$f(\mathbf{x}_i) > 0 \text{ za neki univerzitet } i, \quad (4)$$

$$\hat{b}_i = \frac{f(\mathbf{x}_i)}{\sum_{i=1}^{15} f(\mathbf{x}_k)}, i = 1, \dots, 15. \quad (5)$$

Pretpostavljamo da funkcija cilja uzima vrednosti u domenu glavnih kardinalnosti, tako da „bolji“ univerziteti imaju veću korisnost. U nastavku pretpostavljamo da udeli budžeta univerziteta su proporcionalni proceni njihove korisnosti.

Uzimamo u obzir racionalnu raspodelu budžeta $\hat{\mathbf{b}}$ podržanu od strane linearne funkcije cilja, to jest ponderisane sume indeksa univerziteta:

$$f(\mathbf{x}) = \mathbf{x}'\mathbf{g} = \sum_{i=1}^5 x_i g_i, \quad (6)$$

gde vektor ciljnih težina $\mathbf{g} = \{g_i\}_5$ je očigledno gradijent vektora funkcije cilja f .

Racionalizacija statusa kvo je pronalaženje racionalnog budžeta $B\hat{\mathbf{b}}$ najbližeg aktuelnom budžetu $B\mathbf{b}$:

$$\|B\hat{\mathbf{b}} - B\mathbf{b}\|^q = \sum_{i=1}^{15} |\hat{b}_i B - b_i B|^q = B^q \sum_{i=1}^{15} |\hat{b}_i - b_i|^q \rightarrow \min_{\hat{\mathbf{b}}}, q \geq 1. \quad (7)$$

Najčešće se uzima da je $q = 2$, što znači najmanje kvadratno ponašanje linearne funkcije cilja aktuelnog budžeta. Vrednost parametara $1 \leq q < 2$ i $q > 2$ rezultiraju više/manje osetljivosti u odnosu na velika podešavanja greškama.

Sledeća teorema daje Model (IV) Fandela i Gala (2001) iz prethodnog poglavlja, na osnovu pretpostavki, dajući ekvivalentan operativni oblik problemu (7).

Teorema 1: (Model (IA): linearni Model (IV) Fandela i Gala (2001))

Da bismo utvrdili racionalne raspodele budžeta za (7), minimiziranjem ukupnog apsolutnog odstupanja od stvarnog budžet, potrebno je uraditi sledeće:

- 1) Naći vektor ciljnih težina $\mathbf{g}$, dimenzije (5x1), iz:

$$\begin{cases} \|X\mathbf{g} - \mathbf{b}\|^q \rightarrow \min_{\mathbf{g} \in \mathbb{R}^5}, q \geq 1, \\ \mathbf{g}'\mathbf{1}_5 = 1, \\ \mathbf{g} \geq \mathbf{0}_5, \end{cases} \quad (IA)$$

gde je X matrica dimenzije (15x5) izgrađena od 15 vektora univerziteta $\mathbf{x}_i \in X$, svaki sa po pet ciljnih indeksa, $\mathbf{b} = \{b_i\}_{15}$ je vektor udela aktuelnog budžeta, $\mathbf{1}_5 = \{1\}_5$ vektor jedinica, $\mathbf{0}_5 = \{0\}_5$ vektor nula.

2) Odrediti vektor novih udela budžeta univerziteta u ukupnom budžetu iz:

$$\hat{\mathbf{b}} = X\mathbf{g}.$$

Dokaz: Za linearne funkcije cilja (6), nenegativan uslov (3) na X je ekvivalentan sa ograničenjem u $\mathbf{g} \geq \mathbf{0}_5$ u (IA). Tada je (4) ekvivalentno sa $g_j > 0$ za neko j , odakle $\mathbf{g}'\mathbf{1}_5 > 0$. Podela ciljne funkcije po pozitivnim faktorima $\mathbf{g}'\mathbf{1}_5 > 0$ ne utiče na udele budžeta (5). Shodno tome, ekvivalentna standardizacija ograničenja u (IA) modelu:

$$\mathbf{g}'\mathbf{1}_5 = \sum_{j=1}^5 g_j = 1 \quad (8)$$

samo ne ograničava konvenciju. Međutim, zbog ove konvencije je

$$\sum_{i=1}^{15} \mathbf{x}'_i \mathbf{g} = \sum_{k=1}^{15} \sum_{j=1}^5 x_{kj} g_j = \sum_{j=1}^5 \left(\sum_{k=1}^{15} x_{kj} \right) g_j \stackrel{(2)}{=} \sum_{j=1}^5 1 g_j \stackrel{(8)}{=} 1.$$

Zamenom ovoga u (5) dobijamo:

$$\hat{b}_i = \mathbf{x}'_i \mathbf{g} = \sum_{j=1}^5 x_{ij} g_j, i = 1, \dots, 15. \quad (9)$$

Zamenom (9) i (7) i izostavljanjem zajedničkog faktora B^q , dobijamo

$$\sum_{i=1}^{15} |\mathbf{x}'_i \mathbf{g} - b_i|^q \rightarrow \min_{\mathbf{g}},$$

što je uslov $\|X\mathbf{g} - \mathbf{b}\|^q \rightarrow \min_{\mathbf{g}}$, kao i u (IA).

9.3 Racionalizacija statusa kvo sa minimiziranjem apsolutnih promena

Prototip Modela (IA) ne preuzima nikakav stalni član u linearnoj funkciji cilja, to znači da univerzitet sa svim nulama u ideksima zasluga nema sredstva kojima raspolaže. Ovo dodatno

ograničenje smanjuje prilagođavanje modela i shodno tome, smanjuje tačnost uklapanja funkcije cilja sa aktuelnim budžetom. S druge strane:

$$f(\mathbf{x}) = \bar{\mathbf{x}}' \bar{\mathbf{g}} < 0$$

za neko $\mathbf{x} \in X$, može da ima smisla. Na primer, $f(\mathbf{0}) < 0$ se može interpretirati da univerzitet zaslužuje sredstva iz državnog budžeta samo ako su svi indeksi veći od nekog određenog minimuma, što je razuman zahtev. Da bismo izbegli neprimenljive rezultate moramo ipak brinuti i o pozitivnoj oceni svih 15 univerziteta, rezervisanjem negativne ocene za teorijsku alternativu.

Linearna funkcija cilja u neograničenom modelu je:

$$f(\mathbf{x}) = \left(\sum_{j=1}^5 x_j g_j \right) + g_6 = \bar{\mathbf{x}}' \bar{\mathbf{g}},$$

gde $\bar{\mathbf{g}} = (g_1, \dots, g_5, g_6)'$ je vektor koeficijenata dimenzije (6x1), $\bar{\mathbf{x}} = (x_1, x_2, \dots, 1)'$ je proširen vektor ciljnih indeksa.

Da bi dobili odgovarajuću tačnost, pravimo odgovarajuća ograničenja najmanje restriktivna, jer u tom slučaju izbor dostupnih odgovarajućih funkcija postaje veći. Pretpostavke vezane za funkciju cilja (3) i (4) se svode na standardizaciju uslova (1), koji je neophodan za dobijanje nenegativnih racionalnih budžetskih udela (5):

$$\sum_{i=1}^{15} \hat{b}_i = \sum_{i=1}^{15} \bar{\mathbf{x}}' \bar{\mathbf{g}} = 1, \hat{b}_i = \bar{\mathbf{x}}' \bar{\mathbf{g}} \geq 0 \quad (10)$$

$$i = 1, \dots, 15.$$

Analogno Teoremi 1 i korišćenjem ograničenja (10) dobijamo sledeću propoziciju. Da bi se napravila razlika između sledećeg linearnog modela i prototipa modela (IA) ovaj model ćemo označiti sa (LA), gde veliko L označava da razmatramo linearnu funkciju cilja sa prekidima.

Teorema 2: (Model (LA): Racionalna raspodela budžeta sa minimalnim absolutnim promenama)

Da bismo odredili racionalnu raspodelu budžeta, smanjenjem ukupnog apsolutnog odstupanja od stvarnog budžeta, potrebno je uraditi sledeće:

- 1) Naći vektor $\bar{\mathbf{g}}$ dimenzije (6x1) iz:

$$\begin{cases} \|\bar{X}\bar{g} - \mathbf{b}\|^q \rightarrow \min_{\bar{g} \in \mathbb{R}^6}, \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{x}_i \right)' \bar{g} = 1, \\ \bar{X}\bar{g} \geq \mathbf{0}_{15}, \end{cases} \quad (LA)$$

gde $\bar{X}$ predstavlja proširenu matricu dimenzije (15x6) univerzitetskih ciljnih indeksa, koja je dobijena dodavanjem kolone jedinica na X , $\mathbf{b} = \{b_i\}_{15}$ je vektor udela budžeta univerziteta, $\mathbf{0}_{15} = \{0\}_{15}$ je vektor nula.

- 2) Vektor novih udela budžeta univerziteta u ukupnom budžetu određujemo koristeći formulu:

$$\hat{\mathbf{b}} = \bar{X}\bar{g}.$$

Dokaz: Da izvedemo uslov za minimizaciju $\|\bar{X}\bar{g} - \hat{\mathbf{b}}\|^q = \|\bar{X}\bar{g} - \bar{X}\bar{g} \cdot \mathbf{b}\|^q \rightarrow \min_{\bar{g} \in \mathbb{R}^6}$, zamenimo $\hat{b}_i = \bar{x}_i \bar{g}$ iz (10) u (7), pa zatim ponovo ispišemo (7) matrično – vektorskom obliku i izostavimo vektor B^q . Dodavanjem, uslova (10) dobijamo problem (LA).

□

Napomena: (*Napredovanje u pogledu fleksibilnosti prilagođavanja*) Procenjujemo napredovanje u fleksibilnosti prilagođavanja modela (LA) u poređenju modela (IA).

Dokazali smo da:

- (a) model (LA) sadrži jedno linearno ograničenje manje od modela (IA),
- (b) jedno od njenih ograničenja je manje restriktivno.

- (a) Da bismo otklonili prekide iz funkcije cilja Modela (LA), moramo predstaviti model sa dodatnim ograničenjem:

$$g_6 = 0. \quad (11)$$

- (b) U odnosu na (11), svako ograničenje $\bar{x}_i \bar{g} \geq 0$ u (LA) postaje ekvivalentno sa $\mathbf{x}'_i \mathbf{g} \geq 0$. Ovo znači da $\mathbf{g}$ mora ležati u pozitivnom poluprostoru hiperravni $\mathbf{x}'_i \mathbf{g} = 0$ kroz $\mathbf{0}$ sa normalnim vektorom $\mathbf{x}_i$. Dok je $\mathbf{x}_i$ vektor udela, on leži u prvom kvadrantu $\mathbb{R}^5_+$. Svaki od vektora $\mathbf{g}$ pod ograničenjem $\mathbf{g} \geq \mathbf{0}_5$, u (IA) pravi sa $\mathbf{x}_i$ ugao ne veći od 90° , što podrazumeva $\mathbf{x}'_i \mathbf{g} \geq 0$. Tako je ograničenje $\mathbf{g} \geq \mathbf{0}_5$ u (IA) mnogo restriktivnije nego svako ograničenje $\mathbf{x}'_i \mathbf{g} \geq 0$ u (LA), i shodno tome, više nego $\mathbf{X}\mathbf{g} \geq \mathbf{0}_{15}$.

9.4 Racionalizacija statusa kvo sa minimiziranjem relativnih promena

Dok se menja budžet, relativno odstupanje od budžeta i -tog univerziteta je:

$$\delta_i = \frac{\hat{b}_i B - b_i B}{b_i B} = \frac{\bar{x}_i' \bar{g}}{b_i} - 1.$$

Ako se status kvo poštuje prilikom minimiziranja ukupnog relativnog odstupanja od aktuelnog budžeta, dobijamo sledeći zadatak minimizacije:

$$\sum_{i=1}^{15} \left| \frac{\bar{x}_i' \bar{g}}{b_i} - 1 \right|^q \rightarrow \min_{\bar{g} \in \mathbb{R}^6}, q \geq 1.$$

Ponovnim ispitivanjem ovog modela u matričnoj notaciji sa standardizacijom ograničenja dobijamo model **(LR)** – *linearni model sa minimiziranjem relativnih promena*.

Teorema 3: (Model (LR): Racionalizacija raspodele budžeta sa minimalnim relativnim promenama)

Da bi odredili racionalnu raspodelu budžeta minimiziranjem relativnih odstupanja od stvarnog budžeta potrebno je uraditi sledeće:

1) Naći vektor $\bar{g}$ dimenzije (6x1) iz:

$$\begin{cases} \|\bar{X}^b \bar{g} - \mathbf{1}_{15}\|^q \rightarrow \min_{\bar{g} \in \mathbb{R}^6}, \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{x}_i \right)' \bar{g} = 1 \\ \bar{X} \bar{g} \geq \mathbf{0}_{15}, \end{cases} \quad (LR)$$

gde je $\bar{X}^b$ matrica dimenzije (15x6), dobije deljenjem svake i -te vrste proširene matrice ciljnih indeksa $\bar{X}$ sa aktuelnim udelima budžeta b_i , $\mathbf{1}_{15}$ i $\mathbf{0}_{15}$ su vektor jedinica i nula, respektivno.

2) Odrediti vektor novih budžetskih udela budžeta univerziteta u ukupnom budžetu:

$$\hat{b} = \bar{X} \bar{g}.$$

9.5 Racionalizacija statusa kvo uzimajući u obzir Pojedinačna pravila

Posmatramo univerzitet i . Određujemo linearnu funkciju cilja koja maksimalno opravdava svoje budžetske udele b_i , to jest naći $\bar{\mathbf{g}}_i \in \mathbb{R}^6$ minimiziranjem:

$$|\epsilon_i| = |\hat{b}_i - b_i| = |\bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}_i - b_i|.$$

Prethodni problem zameničemo sledećim ekvivalentnim problemom:

$$\epsilon_i^2 = (\bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}_i - b_i)^2 \rightarrow \min_{\bar{\mathbf{g}}_i \in \mathbb{R}^6}. \quad (12)$$

Rešenje problema (12) biće korišćeno kao ograničenje za dalje probleme optimizacije. U tu svrhu ćemo dokazati da oni predstavljaju konveksan skup.

Lema 1: (Konveksnost skupa mogućih rešenja)

Rešenja $\bar{\mathbf{g}}_i$ problema (12) čine podskup, G^i , od simpleksa

$$G = \left\{ \bar{\mathbf{g}} \in \mathbb{R}^6 : \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{\mathbf{x}}_i \right)' \bar{\mathbf{g}} = 1, \bar{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{g}} \geq \mathbf{0}_{15} \right\}.$$

Dokaz: Nivo hiperpovrši funkcije cilja u (12) je određeno sa jednakosti:

$$\epsilon^2 = (\bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}_i - b_i)^2.$$

Zbog toga su parovi paralelnih hiperravni paralelni sa $\bar{\mathbf{x}}_i$

$$\Pi_\epsilon = \{ \bar{\mathbf{g}} \in \mathbb{R}^6 : \bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}_i = b_i \pm \epsilon \}$$

na jednakom odstojanju od 0-nivoa hiperravni

$$\Pi_0 = \{ \bar{\mathbf{g}} \in \mathbb{R}^6 : \bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}_i = b_i \}.$$

Ako je absolutni minimum $\epsilon = 0$ objektivne funkcije cilja dostignut u G onda hiperravan Π_0 preseca G , očigledno je subsimpleks $G^i \subset G$, sa rešenjam problema (12).

Ako absolutni minimum $\epsilon = 0$ nije dostignut u G onda postoji minimalno $\epsilon > 0$ takvo da Π_ϵ ima zajedničku tačku sa G . Primetimo da samo jedna hiperravan iz Π_ϵ preseca G : spojimo obe hiperravni sa duži u G (G je kompleksan) i dok ovi segmenati presecaju centralne hiperravni Π_0 , apsolutni minimum $\epsilon = 0$ je dostignut u G , što je suprotno od pretpostavke. Presek jedne hiperravni Π_ϵ sa G daje subsimpleks G^i od rešenja problema (12), po potrebi. $\square$

Ako simpleks G^i kao rešenje problema (12) nije jedini vektor, imamo izbor funkcije cilja koja podjednako opravdava stvarni budžet i -tog univerziteta. Prirodno da izaberemo onaj koji opravdava aktuelni budžet drigih univerziteta. Pod pretpostavkama modela (LR), izaberemo njegov gradijent vektora $\bar{\mathbf{g}}_i \in G^i$:

$$\|\delta_i\|^q = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{15} \left| \frac{\bar{x}_k' \bar{g}_i}{b_k} - 1 \right| \rightarrow \min_{\bar{g}_i \in G^i}, \quad (13)$$

gde δ_i je vektor dimenzije (14x1) relativnih devijacija budžeta univerziteta, posebno za i -ti univerzitet. Budžet i -tog univerziteta je fiksiran za svoj optimum od ograničenja $\bar{g}_i \in G^i$. Pretpostavimo da 15 idividualnih korisnika funkcije cilja $f(x) = \bar{x}' \bar{g}_i$, opravdava svaki aktuelni budžet univerziteta, pronađenih iz 15 problema (13).

Sada ih spojimo u zajedničku funkciju cilja za opštu upotrebu. Da budemo određeniji razmatramo aritmetičku sredinu računovodstvenih pravila, druge metode agregacije mogu biti razmatrane u nekim budućim istraživanjama i ukoliko to bude potrebno.

Sledeća teorema će nam omogućiti da uvedemo **(LI) – Linearni model sa prosečnim individualnim računovodstvenim pravilima**.

Teorema 4: (Modal (LI): Racionalna raspodela budžeta sa maksimalnim poštovanjem individualnih računovodstvenih pravila)

Da bismo utvrdili racionalne funkcije cilja (individualna pravila budžetskog računovotstva), potrebno je uraditi sledeće:

- 1) Za svaki univerzitet $i = 1, \dots, 15$, definisati razliku ϵ_i između aktuelnih budžetskih udela b_i i najbližih racionalnih budžetskih udela $\hat{b}_i$. Potrebno je da nađemo $\bar{g}_i, i = 1, \dots, 15$, iz:

$$\begin{cases} (\bar{x}_i' \bar{g}_i - b_i)^2 \rightarrow \min_{\bar{g}_i \in \mathbb{R}^6}, \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{x}_i \right)' \bar{g}_i = 1, \\ \bar{X} \bar{g}_i \geq \mathbf{0}_{15} \end{cases} \quad i = 1, \dots, 15 \quad (14)$$

gde je $\bar{x}_i$ prošire vektor ciljnih indeksa i -tog univerziteta dimanzije (1x6), $\bar{X}$ je proširena matrica univerzitetskih ciljnih indeksa dimenzije (15x6), dobijena dodavanjem kolone jedinica na $\bar{X}$, $\mathbf{0}_{15} = \{0\}_{15}$ je vektor nula.

- 2) Za svaki univerzitet $i = 1, \dots, 15$, odredimo funkcije cilja, opravdavajući prvenstveno njihov aktuelni budžet i sekundarno aktuelne budžete drugih univerziteta. Za tu svrhu, potrebno je naći proširen vektor ciljnih indeksa $\bar{g}_i, i = 1, \dots, 15$, dimenzije (6x1) iz:

$$\left\{ \begin{array}{l} \|\bar{\mathbf{X}}_{-i}^b \bar{\mathbf{g}}_i - \mathbf{1}_{14}\|^q \rightarrow \min_{\bar{\mathbf{g}}_i \in \mathbb{R}^6}, \\ \bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}_i = f_i, \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{\mathbf{x}}_i \right)' \bar{\mathbf{g}}_i = 1, \\ \bar{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{g}}_i \geq \mathbf{0}_{15} \end{array} \right. \quad i = 1, \dots, 15 \quad (\text{LI})$$

gde $\bar{\mathbf{X}}_{-i}^b$ je matrica dimenzije (14x1) dobijena iz $\bar{\mathbf{X}}^b$ (pogledati u (LR)) brisanjem i -te vrste, f_i je dobijeno iz (14) i (15).

3) Definišemo zajedničku funkciju cilja sa vektorom koeficijenata $\bar{\mathbf{g}}$, dimenzije (6x1), kao sredstvo individualnih vektora $\bar{\mathbf{g}}_i$ generisanih u (LI).

4)

$$\bar{\mathbf{g}} = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \bar{\mathbf{g}}_i. \quad (16)$$

5) Odredimo vektor novih budžetskih udela:

$$\hat{\mathbf{b}} = \bar{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{g}}.$$

Dokaz: Osnovne ideje za tačke 1) i 2), teoreme 4, su objašnjene pre teoreme. Da dokažemo tačku 3) moramo pokazati da su $\bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}$ ubeli budžeta, to jest da $\bar{\mathbf{g}} \in G$. Ovo zaista važi jer konstrukcijom svi $\bar{\mathbf{g}}_i$ pripadaju simpleksu. Kao simpleks G je konveksan i sadrži ponderisane sume njegovih elemenata, pa otuda $\bar{\mathbf{g}} \in G$.

Napomena: (*Jednostavnije i pouzdanije računanje*) Problem kvadratnog programiranja (14) je neodređen, što znači da je manje jednačina u normalnom sistemu jednačina nego broja nepoznatih. To podrazumeva dvostruka rešenja i kompjutersku grešku. Ova smetnja je prevaziđena redukcijom kvadratnog problema (14) na sledeća dva linearna problema programiranja:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}^1 \rightarrow \min_{\bar{\mathbf{g}}^1 \in \mathbb{R}^6}, \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{\mathbf{x}}_i \right)' \bar{\mathbf{g}}^1 = 1, \\ \bar{\mathbf{X}} \bar{\mathbf{g}}^1 \geq \mathbf{0}_{15}, \\ \bar{\mathbf{x}}_i' \bar{\mathbf{g}}^1 \geq b_i. \end{array} \right.$$

Ako je $f_i = \bar{x}_i' \bar{g}^1 = b_i$ tada funkcija cilja u (14) dobija svoj apsolutni minimum 0, i rešenje je već pronađeno. S druge strane razmatramo problem (14) za $\bar{x}_i' \bar{g}^1 - b_i \geq 0$ i svedemo ga na drugi linearni problem programiranja:

$$\begin{cases} \bar{x}_i' \bar{g}^2 \rightarrow \max_{\bar{g}^2 \in \mathbb{R}^6}, \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{x}_i' \right)' \bar{g}^2 = 1, \\ \bar{X} \bar{g}^2 \geq \mathbf{0}_{15}, \\ \bar{x}_i' \bar{g}^2 \leq b_i. \end{cases}$$

Sada izrazimo $f_i = \bar{x}_i' \bar{g}^k$ za $k = 1, 2$ koje omogućava da $\bar{x}_i' \bar{g}^k$ bude najbliže b_i .

9.6 Racionalizacija statusa kvo sa kvadratnim funkcijama cilja

Umesto linearne funkcije cilja za evaluaciju univerziteta, možemo koristiti kvadratnu funkciju sa pet promenljivih (koeficijent 2 može biti izostavljen ali je tradicionalno prisutan u teoriji kvadratne forme):

$$f(\mathbf{x}) = f(x_1, \dots, x_5) = \sum_{j=1}^5 G_{jj} x_j^2 + 2 \sum_{1 \leq j < k \leq 5} G_{jk} x_j x_k + 2 \sum_{j=1}^5 g_j x_j + g_6 = \bar{\mathbf{y}}' \bar{\boldsymbol{\beta}}, \quad (17)$$

gde je $\bar{\mathbf{y}}$ kombinatoričan kvadrat vektora $\mathbf{x}$ i sastoji se od kvadrata njegovih koordinata, unakrsnog proizvoda koordinata i dvostrukih vrednosti istih i jedinice:

$$\bar{\mathbf{y}} = (x_1^2, \dots, x_5^2; 2x_1x_2, \dots, 2x_4x_5; 2x_1, \dots, 2x_5; 1),$$

$\bar{\boldsymbol{\beta}}$ je vektor koeficijenata funkcije:

$$\bar{\boldsymbol{\beta}} = (G_{11}, \dots, G_{55}, G_{12}, \dots, G_{45}, g_1, \dots, g_5, g_6)'.$$

Pošto kvadratna funkcija ima pet na kvadrat uslova, $\frac{5(5-1)}{2}$ unakrsnih proizvoda, pet linearnih uslova i jedan konstantan uslov dimenzija vektora $\mathbf{y}$ i $\boldsymbol{\beta}$ su $N = 21$.

Model iz prethodnog poglavlja je lako prilagodljiv za kvadratne funkcije cilja (kao i za polinomne funkcije cilja).

U našoj primeni imamo $N = 21$ nepoznatih koeficijenata kvadratne funkcije, ali samo 15 univerziteta sa pratećim vektorima ciljnih promenljivih, određujući jednačine u linearnom sistemu normalnih jednačina (govorimo o slučaju kada je $q = 2$). To znači da je model

underdetermined, što podrazumeva nejedinstvenost rešenja. Mi možemo da redukujemo model na četiri ciljne promenljive (onda će broj nepoznatih koeficijenata biti $N = 15$) ili možemo razmatrati kvadratnu funkciju cilja bez unakrsnih proizvoda, što će biti primenjeno u daljem radu (u tom slučaju je $N = 11$). Poslednja mogućnost znači da je tih pet ciljnih indeksa ocenjeno nezavisno od unakrsnih korelacija.

Definišemo kvadratnu analogiju modela (IA), na sledeći način:

$$\begin{cases} \|Y\beta - b\|^q \rightarrow \min_{\beta \in \mathbb{R}^6}, q > 1, \\ f(x) = y' \beta \geq 0 \text{ za sve } x \in X, \\ f(x) \text{ je neopadajuća za sve } x \in X, \\ f(x) \neq 0 \text{ za neko } x \in X. \end{cases}$$

Kao što proističe iz prethodnog poglavlja, kvadratna funkcija f iz:

$$m = \prod_{i=1}^5 [x_{i \min}; x_{i \max}] \subset X \subset \mathbb{R}^5$$

je neopadajuća ako i samo ako su svi parcijalni izvodi nenegativni na svakom delu od X . U našem slučaju imamo da važi:

$$2 G_{ij} x_i + 2 g_i \geq 0, i = 1, \dots, 15, x_i = x_{i \min}, x_{i \max}, \quad (18)$$

ili u matričnom zapisu:

$$A\beta = \begin{pmatrix} x_{1\min} & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & x_{2\min} & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & x_{5\min} & 0 & 0 & \dots & 1 \\ x_{1\max} & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & x_{2\max} & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & x_{5\max} & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \beta \geq \mathbf{0}_{10} \quad (19)$$

Ako je domen monotonosti ceo X :

$$M = [0; 1]^5 = X \subset \mathbb{R}^5,$$

onda matrica A dimenzije (10x10) u uslovu (19), menja svoj oblik i postaje:

$$A\beta = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

Sve dok f nema prekid, $f(\mathbf{0}) = 0$ i neopadanje od f u X podrazumeva da je $f(\mathbf{x}) \geq 0$ za sve $\mathbf{x} \in X$.

Dobijamo model (*qMA*) - *model sa kvadratnim funkcijama cilja bez prekida, koja je globalno monotona, to jest na celom X*. Kao i ranije A ukazuje na to da se apsolutna promena stvarnog budžeta minimizuje.

Teorema 5: (Model (*qMA*): Raspodela nbudžeta sa glomalnom monotonosti kvadratne funkcije cilja bez prekida) Da definišemo racionalnu raspodelu budžeta sa monotonom kvadratnom funkcijom cilja bez prekida, minimiziranjemapsolutne devijacije aktuelnog budžeta, potrebno je uraditi sledeće:

- 1) Naći vector koeficijenata β , dimenzije (1x10), funkcije cilja iz:

$$\left\{ \begin{array}{l} \|Y\beta - \mathbf{b}\|^q \rightarrow \min_{\beta \in \mathbb{R}^6}, \quad q \geq 1 \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \mathbf{b}_i \right)' \beta = 1 \\ A\beta \geq \mathbf{0}_{10} \end{array} \right. \quad (\text{qMA})$$

gde Y matrica formata (15x10), koja predstavlja matricu ciljnih indeksa univerziteta sa njihovim kvadratima. $\mathbf{b} = \{b_i\}_{15}$ je vector stvarnih budžetskih udela, A je matrica formata (10x10), koju smo definisali sa (20) i $\mathbf{0}_{10} = \{0\}_{10}$ je vektor nula.

- 2) Odredimo vektor novih budžetskih udela univerziteta iz:

$$\hat{\mathbf{b}} = Y\beta.$$

Dokaz: Videti objašnjenje koje smo dali pre teoreme.

Za bolje podešavanje tačnosti, razmotrićemo takođe i kvadratne funkcije sa prekidom, i pritom ih ne ograničavamo da budu monotone. Jedini esencijalni uslov je da svaki univerzitet dobija nenegativni budžet. Na taj način dobijamo kvadratni analogon (QA) modela (LA), gde veliko Q označava da se kvadratna funkcija cilja razmatra sa prekidima.

Teorema 6: (Model (QA): Racionalna raspodela budžeta sa kvadratnom funkcijom cilja uz minimiziranje absolutnih promena budžeta) Da bi odredili racionalnu raspodelu budžeta minimizirajući apsolutno odstupanje od stvarnog budžeta potrebno je uraditi sledeće:

- 1) Naći vector $\bar{\beta}$, dimenzije (11x1), iz:

$$\left\{ \begin{array}{l} \|\bar{Y}\bar{\beta} - \mathbf{b}\|^q \rightarrow \min_{\beta \in \mathbb{R}^{11}}, \\ \left(\sum_{i=1}^{15} \bar{y}_i \right)' \bar{\beta} = 1 \\ \bar{Y}\bar{\beta} \geq \mathbf{0}_{10} \end{array} \right. \quad (\text{QA})$$

gde $\bar{Y}$ matrica formata (15x11), koja predstavlja matricu ciljnih indeksa univerziteta sa njihovim kvadratima. Ova matrica je dobijena dodavanjem kolone jedinica na Y . $\mathbf{b} = \{b_i\}_{15}$ je vektor aktuelnih budžetskih udela i $\mathbf{0}_{10} = \{0\}_{10}$ je vektor nula.

- 2) Odredimo vektor novih budžetskih udela univerziteta iz:

$$\hat{\mathbf{b}} = Y\beta.$$

Dokaz: Videti objašnjenja koja smo dali pre teoreme.

Lako se mogu konstruisati kvadratni analogni (QR) i (QI) modela (LR) i (LI), respektivno, postavljanjem odgovarajućih zamena matrica i vektora, na način koji je prikazan u Tabeli 3.

Linearni model		Kvadratni model	
Simbol	Značenje	Simbol	Značenje
$\bar{g}$	Vektor koeficijenata linearne funkcije cilja, dimenzije (6x1)	$\bar{\beta}$	Vektor koeficijenata kvadratne funkcije cilja, dimenzije (21x1)
$\bar{x}_i$	Proširen vektor ciljnih indeksa, dimenzije (6x1)	$\bar{y}_i$	Njegov kombinatoričan kvadrat
$\bar{X}$	Proširena matrica ciljnih indeksa, dimenzije (15x6)	$\bar{Y}$	Matrica kombinatoričnog kvadrata ciljnih indeksa, dimenzije (15x21)
g	Vektor ciljnih težina, dimenzije (5x1)	β	Vektor koeficijenata kvadratne funkcije cilja, bez konstantnog člana, dimenzije (20x1)
x_i	Vektor ciljnih težina, dimenzije (5x1)	y_i	Isti vektor kao $\bar{y}_i$, sa izostavljenom zadnjom koordinatom
X	Matrica ciljnih indeksa, dimenzije (15x5)	Y	Ista matrica kao $\bar{Y}$, sa izostavljenom zadnjom kolonom

Tabela 3. Potrebne zamene za pravljenje kvadratnih modela od linearnih

Opcionalno, može se zahtevati monotonost kvadratne funkcije cilj uključivanjem ograničenja:

$$\bar{A}\bar{\beta} = \begin{pmatrix} x_{1\min} & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & x_{2\min} & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & x_{5\min} & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ x_{1\max} & 0 & \dots & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & x_{2\max} & \dots & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & x_{5\max} & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \bar{\beta} \geq \mathbf{0}_{10} \quad (21)$$

Ukoliko želimo da ograničimo klasu kvadratnih funkcija na (kvazi-)konkavne ili (kvazi-)konveksne, onda za tumačenje modela moraju biti obezbeđena dodatna ograničenja. U našem slučaju kvadratna funkcija cilja je bez unakrsnih proizvoda, pa su uslovi za konveksost i konkavnost veoma jednostavni.

Lema 2: (Uslov konveksnosti/konkavnosti za kvadratnu funkciju cilja bez unakrsnih proizvoda)

- 1) Kvadratna funkcija (17) bez unakrsnih proizvoda je konvaksna ako i samo ako važi:

$$\beta_j = \bar{\beta}_j = G_{jj} \geq 0, j = 1, \dots, 5.$$

U matičnom zapisu:

$$\mathbf{C}\boldsymbol{\beta} \geq \mathbf{0}_5, \text{ respektivno } \bar{\mathbf{C}}\bar{\boldsymbol{\beta}} \geq \mathbf{0}_5, \quad (22)$$

gde je $\mathbf{C}$ matrica formata (5x10), a $\bar{\mathbf{C}}$ je matrica formata (5x11):

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (23)$$

$$\bar{\mathbf{C}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

2) Kvadratna funkcija (17) bez unakrsnih proizvoda je konkavna kako i samo ako važi:

$$\beta_j = \bar{\beta}_j = G_{jj} \leq 0, j = 1, \dots, 5.$$

U matičnom zapisu:

$$-\mathbf{C}\boldsymbol{\beta} \geq \mathbf{0}_5, \text{ respektivno } -\bar{\mathbf{C}}\bar{\boldsymbol{\beta}} \geq \mathbf{0}_5. \quad (24)$$

Dodavanjem ograničenja (22) i (24) u problem (qMA) dobijamo respektivno modele i ($qMCA$) – model sa kvadratnom funkcijom cilja bez prekida, koja je globalno monotona i konkavna na X i ($qMVA$) – model sa kvadratnom funkcijom cilja bez prekida koja je globalno monotona i konveksna na X . Formulisaćemo jedan od tih modela, kao predlog za rešenje, a koji proističe iz prethodnih argumenata.

Teorema: (Model ($qMCA$): Raspodela budžeta sa globalno monotonom kvadratnom funkcijom cilja bez prekida) Da bismo definisali racionalnu raspodelu budžeta sa monotonom kvadratnom funkcijom cilja bez prekida, minimiziranjem apsolutnog odstupanja od aktuelnog budžeta, potrebno je uraditi sledeće:

1) Naći vector koeficijenata $\boldsymbol{\beta}$, dimenzije (10x1), funkcije cilja iz:

$$\left\{ \begin{array}{l} \|Y\beta - \mathbf{b}\|^q \rightarrow \min_{\beta \in \mathbb{R}^6}, \quad q \geq 1 \\ \left(\sum_{i=1}^{15} y_i \right)' \beta = 1 \\ \begin{pmatrix} A \\ -c \end{pmatrix} \beta \geq \mathbf{0}_{15} \end{array} \right. \quad (\text{qMCA})$$

gde Y matrica formata (15x10), koja predstavlja matricu ciljnih indeksa univerziteta sa njihovim kvadratima. $\mathbf{b} = \{b_i\}_{15}$ je vektor aktuelnih budžetskih udela, $\begin{pmatrix} A \\ -c \end{pmatrix}$ je matrica formata (15x10), koju smo definisali pomoću formula (20) i (23) i $\mathbf{0}_{10} = \{0\}_{10}$ je vektor nula.

2) Odredimo vektor novih budžetskih udela univerziteta iz:

$$\hat{\mathbf{b}} = Y\beta.$$

Dokaz: Dokaz sledi iz objašnjenja koja su data pre teoreme.

9.8 Zaključak preraspodele u odnosu na status kvo

Izložili smo i protumačili četiri modela za racionalizaciju budžetskog računovodstva u vezi sa statusmom kvo i njihove kvadratne verzije. Budžetsko računovodstvo se obavlja sa generalnim tehnikama za ugradnju funkcije cilja. Navešćemo dobijene rezultate:

- generalizovanu formulaciju problema sa fleksibilnom izgradnjom modela,
- reprezentativni izbor modela za racionalno budžetsko računovodstvo, uključujući i opcije za apriori zahteve za preferencije (konveksnost ili konkavnost) i
- preciznije aproksimacije za status kvo.

10. Budući pravci istraživanja

Rezultati koje smo dobili istraživanjem u I matematičkom mogu biti korisni u biranju pravaca za buduće istraživačke poduhvate. Na primer, izbor određivanja parametara u ovom modelu je bio određen iz opštih pretpostavki. Iako rezultati simulacije imaju smisla sa intuitivne tačke gledišta, tačnih podataka i merenja u ovom modelu, na žalost nema.

Numeričke simulacije su instruktivne u smislu da indentifikuju moguće trendove i rezultate, ali ovi trendovi mogu da se razlikuju u zavisnosti od skupa određenih parametara koje odražava određena institucija. Kako bi mogli da primene ovaj okvir analize na aktuelnu situaciju univerziteta, bilo bi neophodno iskoristiti specifične numeričke vrednosti. Bilo bi od velike koristi sprovesti istraživanja za prikupljanje empirijskih podataka, koji bi omogućili preciznije određivanje parametara u modelu.

Uvođenje indikatora i stalno preispitivanje i razvoj njihove primene bi mogao da bude jedan od osnovnih načina univerziteta za prikupljanje neophodnih podataka. Samo na osnovu relevantnih pokazatelja univerziteti mogu doneti realan kratkoročni i dugoročni plan razvoja. Univerziteti u Srbiji uglavnom nemaju osoblje koje se svakodnevno bavi kvalitetom, veliki problem u definisanju u korišćenju indikatora predstavlja nedostatak informacione podrške. Većina ustanova nema adekvatne informacione sisteme, pa je prikupljanje podataka veoma otežano. Unapređenju informacionih sistema u budućnosti trebalo bi posvetiti posebnu pažnju jer oni predstavljaju osnovu za izgradnju zdravog visokoobrazovnog sistema. Pored ovog, preduslov za sprovođenje dugoročnih razvojnih projekata je višegodišnje budžetsko planiranje, koje i dalje ne postoji u Srbiji. Stoga su fakulteti suočeni sa neizvešnošću kada podnose budžetske predloge svake godine.²⁴

Svaka dopuna osnovne strukture modela će napraviti model daleko složenijim. Ipak, predstavljamo neke od mogućih ekstenzija za buduća istraživanja.

Pretpostavljeno je da je u matematičkom modelu novac iz budžeta za finansiranje i podsticanje produktivnih aktivnosti u izvesnoj meri bio dobro iskorišćen. U budućem poboljšanju ovog modela, mi planiramo da ovu pretpostavku ispitamo detaljnije, fokusirajući se na to kako se sredstva raspoređuju u okviru univerzitetskog sistema i na ono šta znamo o rezultatima te raspodele.

²⁴ Z. Lužanin, Indikatori kvaliteta, Univerzitet u Novom Sadu, 2011

U sadašnjem modelu, odgovarajuće populacije profesora i studenata su kategorisane kao ili produktivne ili ne, uspešne ili ne. Budući modeli istraživanja bi mogli da dozvole uvođenje više nivoa produktivnosti i uspešnosti, ili čak kontinuum mnogo tih nivoa. Takva razlika u nivou produktivnosti i uspeha na realniji način opisuje pravu univerzitetsku populaciju i njihovu međusobnu interakciju.

Model koji je ovde predstavljen uključuje pretpostavke da su ukupne populacije studenata i profesora nepromenljive. Međutim, značajan rast u broju upisanih studenata i broja zaposlenih na univerzitetu može se, sam po sebi, tumačiti kao mera uspeha tog univerziteta. Buduće proširenje ovog modela će omogućiti fluktuacije u veličine celokupne populacije na univerzitetu.

U ovom modelu, nismo razmatrali finansijski uticaj prisustva studenata. U buduće modele, može se uključiti efekat prihoda od školarine studenata, povećanja i smanjenja nivoa školarine, pružanja finansijske pomoći studentima i davanja stipendija, a zatim analizirati kako će te odluke zauzvrat uticati na populaciju studenata i raznovrsnosti. Takođe, u budućim modelima bismo mogli da ispitamo uticaj aktivnosti koje nisu direktno vezane za nastavu i istraživanje, kao osnovne misije univerziteta, kao što je na primer fizička rekreacija, projekti van domašaja zajednice i nastavak obrazovanja studenata.

Može se postaviti pitanje da li fakulteti treba da upisuju što više studenata, bez obzira na njihov kvalitet, ili bi i kvalitetu studenata trebalo posvetiti posebnu pažnju? Na osnovu istraživanja koja su sprovedena na fakultetima u Srbiji ustanovljeno je da fakulteti prihode od naplata od studenata troše na operativne troškove, investicije za izgradnju kao i za dotiranje plata zaposlenima. Takođe napomenućemo da je utvrđeno da departmani koji imaju više studenata imaju više mogućnosti da poboljšaju uslove nastave i učenja. U skladu sa tim javila se težnja departmana da privuku i upišu što veći broj studenata, a to je implicitno u većini slučajeva dovelo do smanjenja u pogledu kvaliteta istih.²⁵

Osnovni matematički okvir razvijen u ovom radu, iako je poučan sam po sebi, treba da posluži kao osnova za građenje modela koji su još bogatiji detaljima i koji će omogućiti veći stepen finih podešavanja. Na kraju, cilj je da obezbedi kreatorima političkih dešavanja da razviju dobro obavešten sistem i da planovi raspodele budžeta u pravcu visokog obrazovanja budu prilagođeni dugotrajnoj društvenoj koristi.

²⁵ M. Vukasović, M. Babin, V. Ivošević, P. Lažetić, K. Miklavič, Finansiranje visokog obrazovanja u Jugoistočnoj Evropi: Albanija, Crna Gora, Hrvatska, Slovenija, Srbija, Centar obrazovne politike i Univerzitet u Novom Pazaru, Beograd 2009.

11. Zaključak

Kroz matematičke modele pokušali smo da objasnimo problem finansiranja univerziteta, koristeći se komparativnom analizom napravili smo paralelu sa načinom finansiranja univerziteta u našoj zemlji, Srbiji. Uočili smo da će smanjenje finansiranja univerziteta od strane države, u svakom slučaju, imati negativan uticaj na populaciju produktivnih profesora, uspešnih studenata i na industriju u regionu.

Takođe napomenućemo da dok većina univerzitetskih ispitivanja ekonomskog uticaja ispituje regionalni uticaj prisustva u odnosu na odsustvo institucija, ova studija uključuje determinističko matematičko modeliranje, u cilju da doprinese razumevanju efekata modifikovanja finansiranja na unutrašnje delovanje organizacije i posledice ekonomskog uticaja na region. Razvili smo sistem simultanih diferencijalnih jednačina na osnovu teorije difuzije inovacija, da bi modelirali kontinuirane vremenske efekte u interakciji međusobno zavisnih fenomena.

U savremenim razmatranjima rezultata nakon svakog fiskalnog kvartala ili u najboljem slučaju na kraju četvorogodišnje uprave, često se zanemaruje pažljivo razmatranje dugoročnih uticaja političkih odluka, a upravo na to bi trebalo posebno obratiti pažnju prilikom budućih istraživanja.

Kao konačan zaključak komparativne analize finansiranja univerziteta, jeste činjenica da ne postoji jedinstven idealan model finansiranja, već raznolikost i kompleksnost pojava karakteriše sistem finansiranja visokog obrazovanja. Za traženje optimalnog modela treba razmotriti postojeće modele, njihove nedostatake i prednosti, kao i skup direktnih i indirektnih faktora spoljašnje sredine.

Literatura

1. A. Tangian, A. Tangian: Redistribution of university budgets with respect to the status quo, *European Journal of Operational Research*, Volume 19, 2004, p. 409-428
2. A.Smit, A. Smit: An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, (Edit by R.H. Campbell and A.S. Skinner), Originally published 1776, Liberty Classics, 1981
Available: <http://starbulletin.com/1999/01/23/editorial/special.html>
3. D. Felsenstein, D. Felsenstein: The university in the metropolitan area: Impact and public policy implication, *Urban Stud.* 33 (9), Volume 16, November 1996, p.1565-1581
4. D.Strang and S.A. Soule, D.Strang and S.A. Soule: Diffusion in organizations and social movements: From hybrid corn to poison pills, *Annual Rev. Sociology* 24 (1), Volume 26, 1998, p. 265-291
5. E. Mansfield, E. Mansfield: Technical change and the rate of imitation, *Econometrica* 29 (4), October 1961
6. E.G. de Pillis, L.G. de Pillis: The long-term impact of university budget cuts: A mathematical model, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 33, 2001, p. 851-876
7. F. Herzberg, B. Mausner and B. Snyderman, *The Motivation to Work*, John Wiley, 1959
8. F. Herzberg, One more time: How do you motivate employees?, *Harvard Bus. Rev.*, Volume 11, September – October, 1987, p. 109-120
9. G. Fandel, T. Gal, G. Fandel, T. Gal: Redistribution of funds for teaching and research among universities: The case of North Rhine – Westphalia, *European Journal of Operational Research*, Volume 9, 2001, p. 111-120
10. Internet sajtovi:
 - <http://elektron.tmf.bg.ac.rs/aup/OAUP/tekst/materijal%20za%20ucenje/DINAMIK A%20PROCESA.pdf>
 - <http://www.blic.rs/Vesti/Ekonomija/263128/Nezaposlenost-u-Srbiji-povecana-na-222-odsto>
 - <http://www.cep.edu.rs/sistem-obrazovanja-u-srbiji/sistem-obrazovanja-u-celini>
 - <http://www.politika.rs/pogledi/Vladimir-Grecic/Vise-nasih-naucnika-u-dijaspori-nego- u-Srbiji.lt.html>
 - <http://www.uns.ac.rs/sr/zakon/zakonVisokoObrazovanjeISPRVKE.pdf>
11. J. Dator, J. Dator: UH can be good, but not grate, *Honolulu Star Bulletin* (1999, Saturday, January 23); *In Special to the Star Bulletin*.

12. J. Fedderike and R. Kitgaard, J. Fedderike and R. Kitgaard: Economic growth and social indicators: An exploratory analysis, *Econ. Develop. Cult. Change* 46 (3), Volume. 35, 1998, p. 455-490
13. J. Quiggen, J. Quiggen: Human capital theory and education policy in Australia, *Australian Econ. Rev.* 32 (2), Volume 130, June 1999
14. L.J. Lau, D. T. Jamison, S. C. Lui and S. Rivkin, L.J. Lau, D. T. Jamison, S. C. Lui and S. Rivkin: Education and economic growth: Some cross – sectional evidence from Brazil, *J. Dev. Econ.* 41, Volume 25, 1993, p. 45-70
15. M. Vukasović, M. Babin, V. Ivošević, P. Lažetić, K. Miklavič, *Finansiranje visokog obrazovanja u Jugoistočnoj Evropi: Albanija, Crna Gora, Hrvatska, Slovenija, Srbija, Centar obrazovne politike i Univerzitet u Novom Pazaru, Beograd 2009.*
16. N. Todea, D. M. Tilea, Nicolae Todea, Doina Maria Tilea: Comparative analysis between the models for financing of education in Romania and the United Kingdom, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Volume 15, 2011, p. 717–721
17. R. Florax, R. Florax: *The University: A Regional Booster? Economic Impact of Academy Knowledge Infrastructure*, Ashgate Publishing Company, Brookfield, VT, (1992)
18. S. Lin, S. Lin: Education and economic development: Evidence from China, *Comparative Econ. Studies* 3/4, Volume 20, Fall-Winter 1997, p. 66-86
19. T. Kelly, T. Kelly: Public expenditures and growth, *J. Dev. Stud.* 34 (1), Volume 25, 1997, p. 60 – 85
20. T.J. Ambrosio and V. Schiraldi, *From Classrooms to Cell Blocks: A National Perspective*, Justice Policy Institute, 1997
21. Z. Lužanin, *Indikatori kvaliteta*, Univerzitet u Novom Sadu, 2011

Kratka biografija



Jovana Radenović

Rođena sam 23. oktobra 1987. godine u Novom Sadu. U gradu u kom sam rođena, završila sam Osnovnu školu "Veljko Vlahović".

U periodu od 2002-2006. godine pohađala sam Gimnaziju "Jovan Jovanović Zmaj" u Novom Sadu. Prirodno - matematički smer, pomenute gimnazije, žavršila sam kao nosilac Vukove diplome.

Osnovne studije na Prirodno - matematičkom fakultetu, Univerziteta u Novom Sadu, na Departmanu za matematiku i informatiku, na smeru finansijska matematika upisala sam 2006. godine. Poslednji ispit sam položila 2. jula 2010. godine. Osnovne studije završila sam sa prosečnom ocenom 9,59.

Master akademske studije - Primenjena matematika upisala sam 2010. godine na Prirodno - matematičkom fakultetu u Novom Sadu, na Departmanu za matematiku i informatiku, smer finansijska matematika.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada: Master rad

VR

Autor: Jovana Radenović

AU

Mentor: Prof. dr Zorana Lužanin

MN

Naslov rada: Matematički modeli finansiranja univerziteta

NR

Jezik publikacije: srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda: srpski (latinica)

JI

Zemlja publikovanja: Srbija

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2011.

GO

Izdavač: Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa: Novi Sad, Departman za matematiku i informatiku, Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4

MA

Fizički opis rada: 8/53/20/3/0/10/9/0

(br. poglavlja/br. strana/br. literature/br. citata/br. tabela/br. slika/br.grafika/br.priloga)

FO

Naučna oblast: Matematika

NO

Naučna disciplina: Matematičko modelovanje

ND

Predmetna odrednica/Ključne reči: Matematički model univerziteta, difuzija inovacija, visoko obrazovanje, smanjenje budžeta

UDK

Čuva se: U biblioteci Departmana za matematiku i informatiku, PMF Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 3

ČU

Važna napomena:.

VN

Izvod: U ovom master radu kroz matematički model objasnili smo princip finansiranja univerziteta, koji se koristi na američkim i evropskim univerzitetima i uspostavljena je paralela sa načinom finansiranja univerziteta u Novom Sadu, odnosno u Srbiji. Studija će uključiti determinističko matematičko modelovanje sa ciljem da doprinese razumevanje efekata modifikovanja nivoa finansiranja unutrašnjih delova univerzitetske organizacije i posledice ekonomskog uticaja na region. Razvićemo sistem diferencijalnih jednačina baziranih na teoriji difuzije inovacija, da bi model vremenski kontinuiranih efekata bio u interakciji međusobno zavisnih pojava. U ovom radu obrađeni su i matematički modeli za preraspodelu budžeta univerzitetima koji su bazirani na ciljnom programiranju, rastojanju normi i realnim podacima.

Problemi su razmatrani sa stanovišta opštih tehnika za izgradnju funkcije cilja i za procenu alternativnih stanja.

IZ

Datum prihvatanja teme od strane NN veća: 26.08.2011. godine

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik: Dr Dragoslav Herceg, redovni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

Član: Dr Zorana Lužanin, redovni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu, mentor

Član: Dr Miroslav Vesković, redovni profesor Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograf type

DT

Type of record: Printed text

TR

Contents code: Master's thesis

CC

Author: Jovana Radenović

AU

Mentor: Prof. dr Zorana Lužanin, Full Proffesor

MN

Title: Mathematics models of university funding

TI

Language of text: Serbian (Latin alphabet)

LT

Language of abstract: Serbian

LA

Country of publication: Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2011.

PY

Publisher: Author's reprint

PU

Publ. place: Novi Sad, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovica 4

PP

Physical description: 8/53/20/3/0/10/9/0

(chapters/pages/literature/tables/citation/pictures/graphs/additional lists)

PD

Scientific field: Mathematics

SF

Scientific discipline: Mathematical Modelling

SD

Subject/Key words: Mathematical university model, diffusion of innovation, higher education, budget cuts.

UC

Holding data: In library of Department of Mathematics, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

NT

Abstract: In this master's thesis through the mathematical model we explained the principle of funding the university, which is use in American and European universities and we established the parallels with the manner of financing the University of Novi Sad and Serbia. The kernel of our mathematical model is built upon mechanisms that are used to describe the diffusion of innovation. The study will include a deterministic mathematical modeling to contribute to understanding the effects of modifying the level of funding internal parts of the university organisation and consequence of economic impact on the region. We will develop a system of differential equation based on the theory of diffusion of innovations in order to model the effects of continuous time was in the interaction of dependent phenomena. In this paper we have analyzed and mathematical models for the redistribution of budgets universities, which are based on the target programming, distance norms and real data.

AB

Accepted by the Scientific Board on: 26.08.2011. godine

ASB

Defended:

DE

Thesis defend board:

President: Dr Dragoslav Herceg, Full Professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad,

Member: Dr Zorana Lužanin, Full Professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad,
mentor

Member: Dr Miroslav Vesković, Full Professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad