

**UNIVERZITET U BEOGRADU**  
**FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA**

**Nataša, Luka, Martinović**

**OPTIMALNO RASPOREĐIVANJE  
KONSULTANATA NA VIŠE PROJEKATA  
NA OSNOVU OCENE EFIKASNOSTI**

- doktorska disertacija -

Beograd, 2019.

**UNIVERSITY OF BELGRADE**  
**FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES**

**Nataša, Luka, Martinović**

**OPTIMAL STAFF ASSIGNMENT TO  
MULTIPLE PROJECTS BASED ON  
EFFICIENCY SCORES**

- Doctoral Dissertation -

Beograd, 2019.

**Mentor:**

dr Gordana Savić, vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

**Članovi komisije:**

dr Milan Martić, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

dr Mirko Vujošević, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

dr Dragana Makajić-Nikolić, vanredni profesor

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

dr Katarina Vukadinović, redovni profesor

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

Datum odbrane: \_\_\_\_\_

# OPTIMALNO RASPOREĐIVANJE KONSULTANATA NA VIŠE PROJEKATA NA OSNOVU OCENE EFIKASNOSTI

## Sažetak

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je razvoj novog pristupa selekciji konsultanata i njihovo optimalno raspoređivanje na određene pozicije (aktivnosti) na jednom ili više projekata. Adekvatan plan rasporeda konsultanata se prepoznaje kao jedan od najvažnijih faktora za efikasnu i pravovremenu realizaciju jednog ili više projekata čije aktivnosti mogu da se odvijaju istovremeno, a da se pri tome poštuju kadrovska i budžetska ograničenja. Ovaj problem je nepolinomijalne složenosti (NP težak) odnosno postaje sve složeniji sa povećanjem dimenzija odnosno broja projekata, broja konsultanata i aktivnosti koje je neophodno realizovati. Donosilac odluke bi trebalo da se vodi jedinstvenim kriterijumom pri određivanju rasporeda tako da uspešno kreira balansiran i efikasan plan rasporeda konsultanata. Efikasnost plana zavisi od različitih ulaznih i izlaznih kriterijuma kao što su obučenost i kvalifikacije konsultanta ali i njihova cena i ocene pri realizaciji sličnih aktivnosti u prošlosti. Očigledno je da je priroda kriterijuma različita i da oni po svojoj prirodi mogu biti i kvantitativni i kvalitativni, što dalje otežava modeliranje procesa i određivanje jedinstvene mere efikasnosti. Prema tome, osnovno je pitanje kako da se kreira efikasan raspored koji će obezbediti optimalno angažovanje raspoloživih konsultanata na više poslova na jednom ili više projekata koji se odvijaju istovremeno, posebno ukoliko nekoliko konsultanata može da realizuje istu aktivnost sa različitim učinkom odnosno nivoom performansi.

U ovoj doktorskoj disertaciji se predlaže korišćenje i proširivanje modela analize obavijanja podataka (DEA - *Data Envelopment Analysis*) kao tehnike pomoću koje se integrišu svi ulazni i izlazni kriterijumi i kreira se jedna mera kojom se ocenjuje efikasnost. Predloženo proširenje se odnosi na kreiranje odgovarajućeg DEA modela mešovitog (celobrojnog) linearnog programiranja pomoću koga se istovremeno ocenjuje

efikasnost i vrši raspoređivanje konsultanata na pozicije (aktivnosti) na jednom ili više projekata. Kao rezultat optimizacije dobija se jedinstvena ocena efikasnosti za svakog konsultanta za svaku potencijalnu aktivnost na osnovu istorijskih podataka o ključnim indikatorima performansi, simultano sa njihovim dodeljivanjem aktivnostima koje će izvršavati tako da se maksimizira ukupna efikasnost realizacije svih aktivnosti na svim projektima.

*Ključne reči:* ocena efikasnosti, analiza obavljanja podataka (DEA), mešovito (celobrojno) linearno programiranje, plan rasporeda konsultanata, DEA model mešovitog linearnog programiranja

Naučna oblast: Tehničke nauke

Uža naučna oblast: Operaciona istraživanja

# **OPTIMAL STAFF ASSIGNMENT TO MULTIPLE PROJECTS BASED ON EFFICIENCY SCORES**

## **Abstract**

The main subject in this dissertation is development of a new approach to the selection of staff and their optimal assignment to certain positions in one or more simultaneous projects. An adequate staff assignment is recognized as one of the most important factors for the efficient and timely implementation of projects whose activities can take place at the same time. This problem is very complex and becomes more and more complicated with the increase in the number of projects, the number of staff and the activities that need to be realized. The decision maker should be guided by a unique criterion so that it successfully creates a balanced and efficient assignment plan. The efficiency depends on different input and output criteria, such as the training and qualifications of the staff, but also their costs and scores in the implementation of similar activities in the past. It is obvious that the nature of the criteria is different and they can be both quantitative and qualitative, which further complicates the process of interlacing and the determination of a single measure of efficiency. Therefore, the fundamental question is how to streamline an effective schedule that will ensure optimum engagement of available staff on multiple activities in one or more projects that take place at the same time, especially if several staff members can implement the same activity with different level of performance. This doctoral dissertation proposes using and modification of the Data Envelopment Analysis (DEA) as a technique that integrates all input and output criteria and creates a single measure of efficiency. The proposed modification refers to the creation of an appropriate mixed-integer linear programming DEA model, which simultaneously assesses the efficiency and make the assignment plan of the staff member to positions (activities) in one or more projects. As a result of optimization, a unique assessment of efficiency for each staff member for each potential activity is obtained

based on historical data on key performance indicators, simultaneously with their assignment to activities to be performed in order to maximize the overall efficiency of the implementation of all activities on all projects.

*Keywords:* efficient assessment plan, data envelopment analysis (DEA), mixed-integer programming, multi-project staff assessment, mixed-integer programming DEA-model.

Scientific field: Technical sciences

Scientific subfield: Operational research

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Ocena efikasnosti i raspoređivanje .....	5
2.1.    Ocena efikasnosti .....	5
2.1.1.Osnovni DEA modeli.....	8
2.1.2.DEA modeli sa zajedničkim težinama .....	16
2.2.    Raspoređivanje izvršilaca aktivnosti.....	26
3. Raspoređivanje konsultanata na aktivnosti projekata .....	31
3.1.Opis problema.....	31
3.2.Uloga konsultanata i problem njihovog raspoređivanja na projekte .....	36
3.3.Pregled primena DEA za ocenu efikasnosti zaposlenih ili projekata, selekciju i alokaciju resursa .....	47
4. Modeli za optimalno raspoređivanje konsultanata zasnovani na DEA oceni efikasnosti .....	65
4.1.Modifikovani DEA model za izbor konsultanta za jednu aktivnost.....	66
4.2.Modifikovani DEA model za raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti jednog projekta .....	68
4.3 Modifikovani DEA model za istovremeno raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti na više projekta .....	74
5.    Primena DEA modela za raspoređivanje konsultanata.....	79
5.1 Izbor najefikasnijeg konsultanata za jednu aktivnost projekta.....	79
5.2.Raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti jednog projekta .....	86
5.3.Raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti na više projekta.....	90
6.    Zaključak .....	98
Literatura .....	103
Spisak tabela i slika .....	117



## 1. Uvod

Jedan od načina planiranja kadrova odnosno raspoređivanja zaposlenih je projektno-orijentisano planiranje kadrova u kompanijama koje svoje poslove realizuju tako što ih dele na projekte (Brucker et al., 2011). Uspeh pri implementaciji projekata značajno zavisi od selekcije i raspoređivanja kadrova (konsultanata) na aktivnosti, odnosno načina na koji se formiraju timovi, kao i od efikasnosti vođe projekta. Jedan od najčešće korišćenih parametara pri evaluaciji vođe projekta je upravo sposobnost mobilizacije ljudskih resursa (Iyer & Banerjee, 2016). Problemi selekcije portfolija projekata (Cook & Green, 2000; Tavana et al., 2015; Perez & Gomez, 2016) i izbora vođe projekta (Hadad et al., 2013) su često razmatrani u literaturi. Sa druge strane problem izbora izvršilaca aktivnosti i njihovo raspoređivanje (Wu & Sun, 2006; Bassett, 2000) je značajno kompleksiniji za rešavanje i to je problem koji se pojavljuje u svim oblastima poslovanja. Detaljan pregled (Van den Bergh et al., 2013) i klasifikacija problema raspoređivanja obuhvata 293 rada objavljena do 2013. godine. Autori navode da se problem raspoređivanja danas značajno razlikuje u odnosu na period kada je ovaj problem uveden (Dantzig, 1954, Edie, 1954), zato što se promenio način rada i kompanije nude i mogućnost fleksibilnog radnog vremena i uzimaju u obzir preferencije zaposlenih kada kreiraju timove i raspored rada, kao i njihove veštine i sposobnosti. Problem alokacije i raspoređivanja zaposlenih se često rešava istovremeno sa kreiranjem plana realizacije više projekata (Wu & Sun, 2006; Bassett, 2000, Gutjahr, et al., 2008; Karam et al., 2017) primenom modela mešovitog celobrojnog programiranja i razvojem odgovarajućih heuristika.

U praksi kompanije koje se bave istraživačko-razvojnim ili konsultantskim uslugama u oblasti informacionih tehnologija, često istovremeno realizuju više projekata sa različitim aktivnostima sa jedne strane, a timovi se formiraju od konsultanta koji poseduju određeni nivo različitih veština i kvalifikacija za realizaciju zahtevanih

aktivnosti sa druge strane. Formiranje efikasnog tima konsultanata (najbolji konsultant u pravoj ulozi na konkretnom projektu) je samo jedan od svakodnevnih višekriterijumskih problema čije se rešavanje očekuje na zadovoljstvo svih uključenih strana (kompanije koja je ugovorila projekat, korisnika koji su naručili projekat, ali i konsultanata koji projekat treba uspešno da realizuju). U ovakvim slučajevima, problem se može posmatrati kao problem višekriterijumske optimizacije u višeprojektom okruženju (Certa et al., 2009) i može se, na primer, rešavati primenom metoda višekriterijumske analize ili modela ciljnog programiranja. S obzirom da se istovremeno vrši selekcija i raspoređivanje konsultanata, problem je veoma složen i njegova složenost raste sa porastom broja projekata, broja konsultanata i aktivnosti koje svaki od njih može da realizuje (Brucker et al., 2011).

Donosiocima odluka je raspoređivanje konsultanta još više otežano ako je pri oceni njihovih performansi neophodno pratiti više kriterijuma istovremeno. U praksi je moguće prepoznati sledeće situacije:

1. Potrebno je izabrati konsultanta koji će realizovati jednu aktivnost. Pri oceni performansi se uzima u razmatranje veliki broj kriterijuma u odnosu na broj konsultanata koji poseduju kvalifikacije za realizaciju ugovorne aktivnosti. Najčešće je to izbor menadžera odnosno vođe projekta.
2. Potrebno je izabrati konsultante (tim) koji će realizovati više aktivnosti na jednom projektu. Na raspolaganju je određen broj konsultanata koji poseduju različite veštine i znanja i shodno tome mogu realizovati jednu ili više različitih aktivnosti.
3. Potrebno je izabrati konsultante (više timova) koji će realizovati više aktivnosti na više projekata. Na raspolaganju je određen broj konsultanata koji poseduju različite veštine i znanja i shodno tome mogu realizovati jednu ili više različitih aktivnosti.

Cilj ove disertacije je da se predloži metodologija koja omogućava istovremeno raspoređivanje konsultanata, na jednu ili više aktivnosti na jednom ili više projekata, i kreiranje jedinstvene ocene performansi. U disertaciji će biti predloženo korišćenje modifikovanog modela analize obavijanja podataka (DEA - *Data Envelopment Analysis*) koji pripada klasi problema mešovitog celobrojnog odnosno binarnog linearnog

programiranja. DEA je neparametarska tehnika (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978) koja uzima u obzir više kriterijuma i kreira indeks relativne efikasnosti posmatranih jedinica o kojima se odlučuje (DMU-*Decision Making Units*). Bez obzira koji od tri prethodno opisana problema se rešava procedura se sastoji iz dve faze. U prvoj fazi se vrši selekcija ključnih indikatora performansi, koji će služiti kao kriterijumi za ocenu efikasnosti, i određuje na koji način će biti definisane jedinice o kojima se odlučuje (konsultant, kombinacije konsultant-aktivnost ili projekat-konsultant-aktivnost). U drugoj fazi se postavljaju dodatna ograničenja, definiše i rešava matematički model raspoređivanja konsultanata sa ciljem maksimizacije ukupne efikasnosti realizacije svih aktivnosti na svim projektima.

Na osnovu analize dostupne literature i postavljenog predmeta i cilja istraživanja mogu se postaviti opšta hipoteza kao i posebne hipoteze doktorske disertacije, koje će biti naučno potvrđene ili opovrgnute.

*Opšta hipoteza:*

Primenom modifikovanih modela ocene efikasnosti i optimalnog raspoređivanja konsultanata na projekte, moguće je unaprediti donošenje odluka o timu koji će efikasno realizovati projekte, dokazujući da su modeli uspešni u praksi i daju rezultate.

*Posebne hipoteze:*

- Primena modifikovanog DEA modela je korisna za procenu relativne efikasnosti konsultanata na osnovu rezultata postignutih na prethodnim projektima.
- Modifikovani DEA model se može uspešno primeniti za ocenu efikasnosti malog broja konsultanata, bez obzira na veliki broj kriterijuma (ulaza i izlaza).
- Postojeći modeli selektovanja i raspoređivanja konsultanata na projektima se mogu unaprediti.
- Raspoređivanje konsultanata prema kriterijumu efikasnosti je moguće pomoću kvantitativnih modela.
- Zajedničkim korišćenjem modela DEA i modela raspoređivanja prevazilaze se nedostaci pojedinačne i nezavisne primene svakog od ovih koncepata.

Da bi se uspešno realizovala ideja istraživanja i potvrdile (ili opovrgle) postavljene hipoteze, u radu će biti korišćene opšte metode istraživanja: prikupljanje i

kritička obrada raspoložive literature u vezi sa predmetom istraživanja, analiza sadržaja sakupljenog materijala, sistematizacija i analiza postojećih pristupa i znanja u oblasti istraživanja i prezentacija postignutih rezultata.

U radu će biti primenjene sledeće opšte metode: metode deskriptivne analize, metode indukcije-dedukcije, metode komparativne analize i druge analitičke metode. Pored opštih metoda istraživanja, zbog specifično postavljenih ciljeva biće upotrebljene i posebne metode kao što su analiza obavljanja podataka i metode matematičkog programiranja i modeliranja.

Struktura disertacije je koncipirana tako da je u drugom poglavlju data teorijska osnova DEA metodologije za ocenu efikasnosti kao i osnovni modeli raspoređivanja. U trećem poglavlju je dat detaljan opis problema koji se rešava, praćen pregledom literature vezane za rešavanje problema raspoređivanja i primenu DEA modela u upravljanju projektima. U četvrtom poglavlju su predloženi modeli za rešavanje tri definisana problema, a u petom su prikazani rezultati primene modela na realnim primerima. U šestom poglavlju su data zaključna razmatranja i dalji pravci istraživanja, praćena pregledom korišćene literature u sedmom poglavlju.

## **2. Ocena efikasnosti i raspoređivanje**

U uvodnom delu disertacije je već rečeno da je selekcija i raspoređivanje konsultanata višekriterijumski problem koji uzima u obzir više performansi koje se mere pri oceni jednog konsultanta. Da bi se olakšalo donošenje odluka, odnosno raspoređivanje konsultanata pri formiranju timova za realizaciju projekata, potrebno je kreirati jedinstvenu meru performansi. U ovom poglavlju su date teorijske osnove modela za merenje efikasnosti koje će se koristiti kao jedinstvena, agregirana mera performansi i modela raspoređivanja koji će poslužiti kao osnova za razvoj modifikovanih DEA modela za raspoređivanje konsultanata.

### **2.1. Ocena efikasnosti**

Efikasnost je jedna od osnovnih performansi u svakom poslovanju i može se izraziti kao sposobnost da se minimiziraju ulaganja u ostvarivanju ciljeva preduzeća odnosno može se definisati preko sintagme “raditi stvari na pravi način”. Efikasnost se, u najjednostavnijem slučaju definiše preko racio broja, kao odnos jednog ulaza i jednog izlaza (Savić, 2012). U proizvodnim organizacijama ulaz se može, na primer, izraziti preko troškova proizvodnje, angažovanih sredstva koji organizacija koristi za proizvodnju jednog izlaza koja se predstavlja kao dobit, profit, prihod i sl. Osnovna definicija se lako proširuje na slučaj kada postoji više jednorodnih ulaza/izlaza koji se izražavaju u istim mernim jedinicama pa se mogu posamtrati kao jedinstven ulaz/izlaz. U praksi je često neophodno da se izvrši ocena performansi (efikasnosti) razmatrajući više raznorodnih ulaza i izlaza (finansijski, tehnički, tehnološki, ekološki, socijalni, itd.) koji se izražavaju u različitim mernim jedinicama. To bi značilo da je neophodno da se pronade način da se definiše proizvodna funkcija koja pretvara ulaze u izlaze.

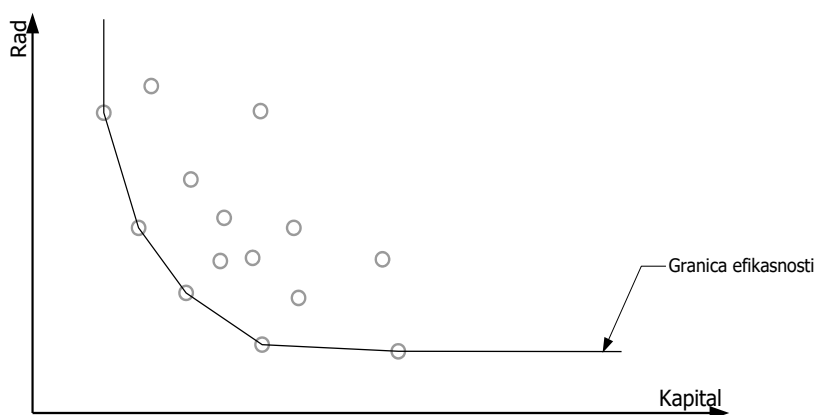
Farel (Farell, 1957) je upravo predložio analitičku proceduru za merenje efikasnosti i procenu granice efikasnosti proizvodnje u slučaju kada organizacija koristi

više ulaza i proizvodi jedan izlaz uz pretpostavku konstantnog prinosa na obim (CRS - *constant returns to scale*). Neka organizacija posluje sa konstantnim prinosom na obim ako povećanje u njenim ulazima rezultuje u proporcionalnom povećanju njenih izlaza. Pri analizi efikasnosti kao ulazi se najčešće posmatraju rad i kapital koji su potrebni za proizvodnju određene količine izlaza. Pri uporednoj analizi efikasnosti u skupu homogenih jedinica posmatra se kao da sve jedinice proizvode jednake izlaze. Ulazne vrednosti se upoređuju u odnosu na jedinicu koja predstavlja najbolju praksu u posmatranom skupu jedinica (koristi najmanju vrednost ulaza). Farel je definisao sledeće 3 mere efikasnosti (Savić, 2012):

1. tehnička efikasnost (TE) posmatrane jedinice se procenjuje u odnosu na najbolju praksu i izražena je kao procenat njene vrednosti.
2. alokativna efikasnost (AE) se odnosi na alokaciju troškova. Posmatrana jedinica teži da minimizira cenu proizvodnje određenog nivoa izlaza odgovarajućim izborom ulaza za dati skup ulaznih cena, pod pretpostavkom da je posmatrana organizacija potpuno tehnički efikasna.
3. ukupna efikasnost (UE) kombinuje tehničku i alokativnu efikasnost. Posmatrana organizacija može biti troškovno efikasna samo ako predstavlja najbolju praksu u smislu korišćenja ulaza kao i u smislu alokacije resursa. To znači, organizacija je troškovno tj. ukupno efikasna ako i samo ako je tehnički i alokativno efikasna. Ukupna efikasnost se računa kao proizvod tehničke i alokativne efikasnosti (izraženo u procentima).

Praktično određivanje teoretske granice efikasnosti je komplikovano pošto bi trebalo pretpostaviti da je poznata teoretski najbolja praksa u dopustivoj oblasti. U realnim situacijama, najčešće su raspoloživi samo istorijski podaci za posmatrani skup jedinica a ne i podaci o uzornim jedinicama odnosno najboljoj praksi, koja bi morala biti određena eksterno. Posebno je teško definisati najbolju praksu za uslužne, neprofitne organizacije pošto se ulazi i izlazi ne izražavaju samo u monetarnim jedinicama i može dogoditi da posmatrane tačke ne obuhvataju čitav opseg mogućih kombinacija ulaznih vrednosti. Farel (1957) je predložio praktičan pristup konstruisanja granice efikasnosti tako što se najbolja praksa određuje na osnovu vrednosti izabranih ulaza i izlaza jedinica u posmatranom skupu koje se međusobno porede. Granica efikasnosti je u stvari

obvojnica, tj. pesimistička specifikacija granice konstruisana u cilju pronalazjenja funkcije koja najbliže opisuje način pretvaranja ulaza u izlaze za posmatrani skup jedinica. Ilustracija obvojnice u slučaju dva ulaza (rad i kapital) je prikazana na Slici 1. Cilj svih jedinica u posmatranom skupu je da se sa što manjim ulazima (rad i kapital) proizvedu isti novo izlaza. Efikasne jedinice leže na granici efikasnosti, dok se za ostale pronalazi najbolja praksa na granici efikasnosti računajući radijalno rastojanje posmatrane tačke do fiktivne tačke koja leži na granici efikasnosti.



Slika 1. Granica efikasnosti (Savić, 2012)

Polazeći od Farelovih principa određivanja granice Čarns, Kuper i Rouds (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978) su kreirali neparametarsku metodologiju ocene efikasnosti škola kao neprofitnih institucija. Ova tehnika je Analiza obavijanja podataka (DEA - *Data Envelopment Analysis*) koja predstavlja tehniku matematičkog modeliranja koja omogućuje da se utvrdi da li je jedinica o kojoj se odlučuje (DMU - *Decision Making Unit*), efikasana ili nije, relativno prema drugim jedinicama u posmatranom skupu. Ocena efikasnosti se takođe vrši na osnovu vrednosti ulaza i izlaza. DEA je granična metoda koja se sastoji od serije optimizacija (po jedna za svaku jedinicu uključenu u analizu). DEA mera efikasnosti je relativna, jer zavisi od broja jedinica uključenih u analizu, od broja, strukture i opsega vrednosti ulaza i izlaza. Prema tome DEA mera efikasnosti je zasnovana na podacima. Svaka jedinica u posmatranom skupu se procenjuje kao relativno efikasna i dodeljuje joj se vrednost indeksa efikasnosti jednaka 1 (100%) ili relativno

neefikasna i dodeljuje joj se vrednost indeksa efikasnosti manja od 1 (<100%). Prema tome posmatrani skup jedinica se deli na skup efikasnih i skup neefikasnih. Neefikasne jedinice se mogu međusobno rangirati u odnosu na indeks efikasnosti. Osnovni DEA modeli za ocenu efikasnosti su dati u sledećem poglavlju.

### 2.1.1. Osnovni DEA modeli

U ovom poglavlju su prikazane matematičke formulacije osnovnih DEA modela i pojedinih njihovih modifikacija koje mogu poslužiti kao osnova za dalji razvoj DEA modela prilagođenih realnim problemima koji se rešavaju.

#### DEA model sa konstantnim prinosom na obim

Pretpostavka je da se posmatra skup  $N$  sastavljen od jedinica o kojima se odlučuje (DMU), kao i da je poznat skup ulaznih kriterijuma  $I$  i skup izlaznih kriterijuma  $O$ . Neka su poznate sledeće vrednosti:

- $x_{ij} > 0$ , ( $i \in I, j \in N$ ) - ulaz  $i$ -te vrste za DMU $j$
- $y_{rj} > 0$  ( $r \in O, j \in N$ ) - izlaz  $r$ -te vrste za DMU $j$

Čarns, Kuper i Rouds su (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978) predložili da se za svaku DMU $k$ ,  $k \in N$ , reši po jedan optimizacioni zadatak pod pretpostavakom konstantnog prinosa na obim (u literaturi poznat kao CCR DEA ili CRS DEA racio model):

$$\max h_k = \frac{\sum_{r \in O} u_r y_{rk}}{\sum_{i \in I} v_i x_{ik}} \quad (2.1)$$

p.o.



$$\frac{\sum_{r \in O} u_r y_{rj}}{\sum_{i \in I} v_i x_{ij}} \leq 1, j \in N \quad (2.2)$$

$$u_r \geq 0, r \in O \quad (2.3)$$

$$v_i \geq 0, i \in I \quad (2.4)$$

gde su:  $h_k$  – relativna efikasnost DMU $_k$ ;  $u_r$  – težinski koeficijent za  $r$ -ti izlaz;  $v_i$  – težinski koeficijent za  $i$ -ti ulaz (Savić, 2012). Kriterijumska funkcija CCR DEA modela (2.1) maksimizira relativnu efikasnosti ( $h_k$ ) a da se pri tome određuju nepoznate vrednosti težinskih koeficijenata  $u_r$  i  $v_i$ . Težinski koeficijenti pokazuju stepene važnosti svakog ulaza i izlaza koje svaka jedinica bira tako da bude što je moguće efikasnija. Ako tada ne postoji neka druga jedinica koja sa istim angažovanim ulazima proizvodi veće izlaze onda je posmatrana jedinica efikasna. Dakle, DMU $_k$  bira vrednosti težina za ulaze i izlaze tako da se njena efikasnost maksimizira, ali vrednosti težina moraju biti dopustive za sve DMU iz posmatranog skupa  $N$  i zadovoljavati uslov da je za svaku DMU odnos težinske sume izlaza i težinske sume ulaza manji ili jednak od 1 (2.2). Prema tome težinski koeficijenti se dobijaju kao rezultat optimizacije i nisu date *a priori* kao kod model višekriterijumske optimizacije. Takođe, originalne vrednosti ulaza i izlaza ne moraju da se svode na istu mernu skalu. Dobijene vrednosti za težinske faktore zavise od opsega vrednosti za ulaze i izlaze i nisu pogodne za međusobno poređenje. Udeo i važnost svakog ulaza (izlaza) u dobijenom indeksu efikasnosti pokazuje proizvod vrednosti tog ulaza (izlaza) i dodeljenog težinskog koeficijenta koji se naziva virtuelni ulaz (izlaz). Ograničenja data relacijama (2.3) i (2.4) označavaju da težinski koeficijenti mogu imati samo nenegativne vrednosti.

Pretpostavka ovog modela je da povećanje ulaza rezultuje proporcionalnom povećanju izlaza (Guan & Chen, 2012) tj. pretpostavlja se konstantni prinos na obim (CRS-constant return to scale). Ako je relativna efikasnost jednaka 1, DMU $_k$  je relativno efikasna. Za relativno neefikasnu DMU $_k$ , indeks efikasnosti  $h_k$  je manji od 1, i pokazuje za koliko procentualno DMU $_k$  treba da smanji svoje ulaze da bi postala efikasna (Savić, 2012).

Osnovni CCR DEA model (2.1–2.4) je nelinearan, nekonveksan sa linearno-razlomljenom funkcijom cilja i linearno-razlomljenim ograničenjima. U cilju lakšeg rešavanja ovog problema on se pomoću jednostavnih transformacija (Cooper, Seiford, & Tone, 2000) svodi na ekvivalentan linearni DEA CCR model (2.5-2.9).

$$\max h_k = \sum_{r \in O} u_r y_{rk} \quad (2.5)$$

p.o.

$$\sum_{i \in I} v_i x_{ik} = 1 \quad (2.6)$$

$$\sum_{r \in O} u_r y_{rj} - \sum_{i \in I} v_i x_{ij} \leq 0, \quad j \in N \quad (2.7)$$

$$u_r \geq 0, \quad r \in O \quad (2.8)$$

$$v_i \geq 0, \quad i \in I \quad (2.9)$$

U ovom CCR DEA modelu (2.5-2.9) maksimizira se virtuelni izlaz za  $DMU_k$  (2.5), dok je njen virtuelni ulaz jednak 1 (2.6). Ograničenja data relacijom (2.7) označavaju da optimalne težine za  $k$ -tu DMU moraju zadovoljavati uslov da za svaku DMU u posmatranom skupu  $N$ , virtuelni izlaz ne može biti veći od virtuelnog ulaza. Ako je vrednost funkcije cilja jednaka 1, onda za sve preostale jedinice njihov virtuelni izlaz biće manji od virtuelnog ulaza, a ako je vrednost funkcije cilja manja od 1, onda one jedinice kod kojih virtuelni izlaz bude jednak njihovom virtuelnom ulazu čine uzorne ili referentne jedinice za  $k$ -tu DMU i obrazuju granicu efikasnosti u odnosu na koju se procenjuje posmatrana  $DMU_k$ . Ovaj model se često u literaturi naziva težinski DEA model.

Odgovarajući dualni CCR DEA model da  $DMU_k$  se naziva model obavljanja i ima formu modela (2.10-2.13).

$$\min Z_k \quad (2.10)$$

*p.o.*

$$\sum_{j \in N} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}, r \in O \quad (2.11)$$

$$Z_k x_{ik} - \sum_{j \in N} \lambda_j x_{ij} \geq 0, i \in I \quad (2.12)$$

$$\lambda_j \geq 0, j \in N, Z_k \text{-neograničeno} \quad (2.13)$$

Funkcija cilja (2.10) pokazuje sa kojom minimalnom vrednošću ulaza je moguće ostvariti postojeći nivo izlaza  $k$ -te DMU. Promenljiva  $Z_k$  naziva se faktor intenziteta i pokazuje nivo na koji je potrebno da DMU $_k$  proporcionalno smanji sve izlaze da bi postala efikasna. Dualna promenljiva  $\lambda_j$  predstavlja dualnu težinu koja pokazuje važnost koja je dodeljena DMU $_j$  ( $j \in N$ ) pri definisanju ulazno-izlaznog miksa hipotetičke kompozitne jedinice koja predstavlja uzornu jedinicu za DMU $_k$ . Ukoliko uzornu DMU nije moguće konstruisati izvan postojećih jedinica,  $k$ -ta DMU je efikasna. Za svaku DMU $_j$  ( $j \in N$ ) uzetu kao DMU $_k$  rešava se odgovarajući primalni i dualni problem linearnog programiranja.

CCR DEA modeli, koji su do sada izloženi, mere ukupnu tehničku efikasnost jedinice, koja uključuje čistu tehničku efikasnost i efikasnost obima. Pretpostavlja se da jedinice posluju sa konstantnom prinosom na obim, odnosno da povećanje ulaza mora rezultovati u proporcionalnom povećanju nivoa izlaza.

### **DEA model sa varijabilnim prinosom na obim**

Proširenje osnovnog CCR DEA modela koje su uveli su Banker, Čarns i Kuper (Banker, Charnes, & Cooper, 1984) je BCC DEA (VRS DEA) model koji meri čistu tehničku efikasnost, odnosno daje meru efikasnosti koja ignoriše uticaj obima poslovanja tako što se  $k$ -ta DMU poredi samo sa drugim jedinicama sličnog obima.

Primalni BCC DEA model (Banker, Charnes, & Cooper, 1984) ima formu prikazanu modelom (2.14-2.18):

$$\max h_k = \sum_{r \in O} u_r y_{rk} + u^* \quad (2.14)$$

p.o.

$$\sum_{i \in I} v_i x_{ik} = 1 \quad (2.15)$$

$$\sum_{r \in O} u_r y_{rj} - \sum_{i \in I} v_i x_{ij} + u^* \leq 0, \quad j \in N \quad (2.16)$$

$$u_r \geq 0, \quad r \in O \quad (2.17)$$

$$v_i \geq 0, \quad i \in I \quad (2.18)$$

U odnosu na primalni CCR DEA model (2.5-2.9), primalni BCC DEA model sadrži dodatnu promenljivu  $u^*$ .  $DMU_k$  posluje sa neopadajućim prinosom na obim ako je i samo ako je optimalna vrednost  $u^* \leq 0$ , sa nerastućim prinosom na obim ako je i samo ako je optimalna vrednost  $u^* \geq 0$ . U slučaju da je vrednost promenljive  $u^* = 0$ ,  $DMU_k$  ( $k \in N$ ) posluje sa konstantnim prinosom na obim i BBC DEA model se svodi na CCC DEA model. Osnosno, ako je vrednost  $u^* = 0$ , funkcija cilja BBC DEA modela 2.14 postaje ista kao funkcija cilja 2.10 i ograničenja prikazana nejednačinama 2.16 postaju ista kao ograničenja 2.12. Očigledno je da će se stroža ocena efikasnosti dobiti ako se koristi CCR DEA model nego ako se koristi BCC DEA model, dok će u slučaju konstantnog prinosa na obim ocene biti jednake.

Dualni BCC DEA model se dobija ako se u dualni CCR DEA model (2.10-2.13) doda ograničenje konveksnosti kao u modelu (2.19-2.22).

$$\min Z_k \quad (2.19)$$

p.o.

$$\sum_{j \in N} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}, \quad r \in O \quad (2.20)$$

$$Z_k x_{ik} - \sum_{j \in N} \lambda_j x_{ij} \geq 0, \quad i \in I \quad (2.21)$$

$$\sum_{j \in N} \lambda_j = 1 \quad (2.22)$$

$$\lambda_j \geq 0, j \in N, Z_k - \text{neograničeno}$$

Dodatno ograničenje (2.22) omogućuje varijabilni prinos na obim i obezbeđuje da referentan skup za posmatranu jedinicu  $DMU_k$  bude formiran kao konveksna kombinacija jedinica koje leže na granici efikasnosti i nalaze se u referentnom skupu (one koje imaju važi da je  $\lambda_j > 0$  ( $j \in N$ ) u optimalnom rešenju). Ova konveksna kombinacija formira virtuelnu jedinicu (uzornu jedinicu) odnosno tačku koja je radijalno najbliža  $DMU_k$ . Neefikasna jedinica može postati efikasna (dostići granicu efikasnosti) smanjujući svoje ulaze (proporcionalno faktoru intenziteta  $Z_k$  u dualnom modelu) dok se njeni izlazi ne menjaju.

### Izlazno orijetisani DEA modeli

Nasuprot ulaznoj orijentaciji koja se podrazumeva u prethodno prikazanim modelima, kod izlazno orijentisanih modela, maksimalna efikasnost se postiže tako što se maksimizira izlaz pri zadatom nivou ulaza, a neefikasna jedinica postaje efikasna kroz povećanje svojih izlaza. Osnovni linearni CCR DEA izlazno orijentisani modeli su dati u formi (2.23-2.27).

$$\min h_k = \sum_{i \in I} v_i x_{ik} \quad (2.23)$$

p.o.

$$\sum_{r \in O} u_r y_{rk} = 1 \quad (2.24)$$

$$\sum_{i \in I} v_i x_{ij} - \sum_{r \in O} u_r y_{rj} \geq 0, j \in N \quad (2.25)$$

$$u_r \geq 0, r \in O \quad (2.26)$$

$$v_i \geq 0, i \in I \quad (2.27)$$

U primalnom (težinskom) izlazno orijentisanom CCR DEA modelu virtuelni izlaz za  $DMU_k$  je jednak 1, a minimizira se njen virtuelni ulaz pri ograničenju da za svaku DMU koja je uključena u analizu virtuelni izlaz ne može biti veći od virtuelnog ulaza. Najmanja moguća vrednost za funkciju cilja je 1 i tada je posmatrana DMU relativno efikasna. Ako je vrednost funkcije cilja veća od 1, posmatrana jedinica je relativno neefikasna i proporcionalno toj vrednosti treba da poveća svoje izlaze da bi bila efikasna. Mera efikasnosti na osnovu rešenja izlazno orijentisanog CCR DEA modela jednaka je recipročnoj vrednosti funkcije cilja ulazno orijentisanog CCR DEA modela. Kod DEA modela sa varijabilnim prinosom na obim ovo ne važi. BCC DEA model izlazne orijentacije se formira uvođenjem promenljive  $u^*$  u CCR DEA model (2.23-2.27), analogno kao u modelu (2.14-2.18).

Dualni (težinski) CCR DEA model izlazne orijentacije je dat u formi (2.28-2.31).

$$\max Z_k \quad (2.28)$$

*p.o.*

$$Z_k y_{rk} - \sum_{j \in N} \lambda_j y_{rj} \leq y_{rk}, \quad r \in O \quad (2.29)$$

$$\sum_{j \in N} \lambda_j x_{ij} \leq 0, \quad i \in I \quad (2.30)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j \in N, \quad Z_k \text{-neograničeno} \quad (2.31)$$

Dualni BCC DEA model se dobija dodavanjem ograničenja  $\sum_{j \in N} \lambda_j = 0$  ograničenja u model (2.28-2.31). Orijentacija DEA modela (ulazna ili izlazna) određuje pravac projekcije neefikasne DMU na granicu efikasnosti. U ulazno orijentisanom modelu efikasnost se poboljšava preko proporcionalnog smanjenja ulaza, a izlazna orijentacija zahteva proporcionalno povećanje izlaza.

## DEA model unakrsne efikasnosti

Kao što je već rečeno, za svaku od DMU u posmatranom skupu  $N$  se rešava po jedan linearni primalni i jedan dualni DEA model. Sa druge strane, Bizli (Beasley, 2003) je dokazao da se rešavanjem modela nelinearnog programiranja (2.32-2.35) dobijaju ista rešenja kao i rešavanjem serije od  $|N|$  linearnih DEA modela iako je poznato da skup optimalnih težina nije jedinstven.

$$\max \sum_{j \in N} e_{jj} / |N| \quad (2.32)$$

p.o.

$$e_{jq} = \sum_{r \in O} u_{rj} y_{rj} / \sum_{i \in I} v_{iq} x_{iq}, \quad j \in N, q \in N$$

$$0 \leq e_{jq} \leq 1, \quad j, q \in N \quad (2.33)$$

$$u_{rj} \geq 0, \quad r \in O, j \in N \quad (2.34)$$

$$v_{ij} \geq 0, \quad i \in I, j \in N \quad (2.35)$$

Cilj rešavanja problema (2.32-2.35) je da se maksimizira prosečna efikasnost svih jedinica u posmatranom skupu  $N$ , istovremeno sa dodeljivanjem optimalnih težina svim ulazima  $v_{ij}$  ( $i \in I, j \in N$ ) i izlazima  $u_{rj}$  ( $r \in O, j \in N$ ) za sve jedinice DMU $j$  u posmatranom skupu. Kao rešenje predstavljenog zadatka nelinearnog razlomljenog programiranja, dobija se vektor indeksa efikasnosti  $e_{jj}$  dimenzija  $|N|$  i matrica težinskih koeficijenata dimenzija  $|N| \times (|I| + |O|)$  gde svaki red odgovara jednoj DMU. Vrednosti  $e_{jq}$  predstavljaju indeks efikasnosti DMU $j$  kada se procenjuje sa težinama ulaza i izlaza dodeljenim od strane DMU $q$  ( $q \in N$ ). Prema tome, ovde se koristi princip matrice unakrsne efikasnosti. Ograničenje 2.33 obezbeđuje da vrednost indeksa efikasnosti ne može biti veća od 1.

Bez obzira na model koji se rešava, svaka jedinica o kojoj se odlučuje, a nalazi se u posmatranom skupu  $N$ , bira takve težinske koeficijente koji favorizuju njene dobre performanse odnosno ulaze sa niskim i izlaze sa visokim vrednostima u odnosu na sve druge DMU u posmatranom skupu. To znači da vrednosti težinskih koeficijenata mogu biti potpuno raznorodne i ne procenjuju se sve jedinice prema istim kriterijumima i njihovim težinama kao što je to slučaj kod modela višekriterijumske analize - VKA (Čupić et al., 2003). U situacijama kada je potrebno sve jedinice procenjivati na isti način mogu se koristiti DEA modeli sa zajedničkim težinama.

### 2.1.2. DEA modeli sa zajedničkim težinama

Sledeći logiku modela višekriterijumske analize predloženi su takozvani DEA modeli sa zajedničkim težinama (Despotis, 2005; Jahanshahloo, 2005). DEA model razlomljenog programiranja bi mogao biti formulisan kao model višekriterijumske analize (2.36-2.39).

$$\max \left\{ \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r1}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i1}}, \dots, \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rn}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{in}} \right\} \quad (2.36)$$

p.o.

$$\frac{\sum_{r \in O} u_r y_{rj}}{\sum_{i \in I} v_i x_{ij}} \leq 1, j \in N \quad (2.37)$$

$$u_r \geq 0, r \in O \quad (2.38)$$

$$v_i \geq 0, i \in I \quad (2.39)$$

Rešavajući model (2.36-2.39) dobija se vektor težinskih koeficijenta dimenzija  $|I|+|O|$  koji je zajednički za sve jedinice u posmatranom skupu  $N$ . Prema tome ceo skup



jedinica se procenjuje pod istim uslovima tj. koriste se isti težinski koeficijenti ulaznih i izlaznih kriterijuma, ali se oni određuju kao rezultat optimizacije a ne *a priori* kao što je slučaj kod višekriterijumskog odlučivanja.

Predloženo je više načina rešavanja predstavljenog zadatka višekriterijumske optimizacije, pri čemu bi jedan od načina mogao da bude da se reši problem baziran na modelu (2.36-2.39) kojim bi se dodelila ista važnost svim DMU u posmatranim skupu  $N$  i dodelili jedinstveni težinski koeficijenti ulazima i izlazima. Model bi imao formu (2.40-2.43).

$$\max \sum_{j \in N} e_j / |N| \quad (2.40)$$

p.o.

$$e_j = \frac{\sum_{r \in O} u_r y_{rj}}{\sum_{i \in I} v_i x_{ij}}, \quad j \in N$$

$$0 \leq e_j \leq 1, \quad j \in N \quad (2.41)$$

$$u_r \geq 0, \quad r \in O \quad (2.42)$$

$$v_i \geq 0, \quad i \in I \quad (2.43)$$

Funkcija cilja 2.40 maksimizira prosečnu efikasnost svih DMU u skupu  $N$ , dok se pomoću ograničenja 2.41 obezbeđuje da vrednost indeksa efikasnosti  $e_j$  ne bude veća od 1 za svaku DMUj ( $j \in N$ ). Broj ograničenja u ovom modelu iznosi  $|N|$ , dok je broj promenljivih jednak  $(|I| + |O|)$  čime se značajno ubrzava pronalaženje rešenja.

### 2.1.3. Primena DEA modela

U poslednjih 40 godina razvoja DEA metode, oblast primene se značajno raširila, a samim tim su razvijeni različiti DEA modeli koji se prilagođavaju praktičnim primenama (Emrouznejad & Yang, 2018). Liu i drugi (2016) su objavili još jednu studiju koja grupiše DEA istraživanja, objavljene u periodu od 2000. do 2014., u 4 pravca:

- Butstrap i dvofazna analiza. Butstrap (*bootstrap*) je statistička metoda u kojoj se slučajnim izborom i zamenom dela originalnog uzorka kreira veliki broj novih uzoraka koji su najčešće istih dimenzija kao originalni uzorak. Svaki element originalnog uzorka ima istu verovatnoću da se nađe u novom uzorku i može se pojaviti više puta. Butstrap metoda računa standardnu grešku i nalazi raspodelu tražene statistike (Efron, 1987). Na osnovu njenih vrednosti mogu da se izračunaju intervali poverenja za parameter koji se ocenjuje. U posmatranom slučaju parameter koji se ocenjuje je indeks efikasnosti dobijen primenom DEA. Butstrap analiza može da se koristi da bi se odredile granice u kojima se kreće indeks efikasnosti i eliminisala pristrasnost iz analize (Radojičić et al., 2018). Dvofazna analiza takođe podrazmeva primenu DEA modela u prvoj fazi, a zatim regresiranje indeksa efikasnosti primenom logit ili tobit regresionih modela da bi se odredio uticaj egzogenih varijabli na indeks efikasnosti (Savić et al., 2015).
- DEA modeli sa nepoželjnim faktorima. Često je u analizu neophodno uključiti nepoželjne faktore kao izlaze. To, na primer, može biti emisija štetnih gasova u analizi ekološke efikasnosti, u avio industriji, u saobraćaju ili u proizvodnji. To je faktor koji je neophodno smanjiti što je više moguće. Bez obzira što se ovakvi faktori posmatraju kao izlazi jedinice o kojoj se odlučuje, oni moraju imati tretman kao ulazni faktori i samim tim je neohodno primenjivati modifikovane DEA modele sa nepoželjnim faktorima.
- Unakrsna efikasnost i rangiranje. S obzirom da se primenom osnovnih DEA modela dobijaju rezultati koji omogućavaju podelu skupa jedinica na efikasne i neefikasne, pri čemu efikasne jedinice ne mogu da se rangiraju, neophodno je pronaći adekvatan način za njihovo rangiranje. Detaljnije o modelima za rangiranje će biti reči u drugom delu ovog poglavlja.

- Mrežni i hijerarhijski DEA modeli, dinamički DEA model i neradijalni DEA modeli. U poslednje vreme se, sa proširivanjem oblasti primene, razvija sve više modela koji uključuju strukturu jedinica u posmatranom skupu pa se samim tim razvijaju modeli koji poštuju mrežnu i hijerarhijsku strukturu jedinica. Pored toga, često se baze podataka, naročito sa prikupljanjem velikih količina podataka, sastoje od panel, istorijskih podataka, pa se može pratiti i dinamika performansi zbog čega se razvijaju *Window* DEA modeli, kreiraju Malmkvistovi DEA indeksi i drugi DEA modeli koji prate dinamiku performansi jedinica u posmatranom skupu (Cooper et al., 2006). Osnovni DEA modeli određuju indeks efikasnosti uzimajući Euklidsko (radijalno) rastojanje od granice efikasnosti kao meru neefikasnosti, što podrazumeva da je potrebno proporcionalno smanjiti sve ulaze ili povećati sve izlaze za isti procenat. Međutim, ukoliko to nije moguće postići, adekvatnije je da se koriste mere neradijalnog rastojanja odnosno DEA modeli zasnovani na dopunskim varijablama (SBM-slack based models) koji mere direktno rastojanje posmatrane jedinice do granice efikasnosti (Cooper et al., 2006).

Pored toga, ova studija (Liu et al., 2016) ažurira glavne pravce i statistiku razvoja DEA od njenog osnivanja, i upoređuje ih sa onima koji su bili predmet prethodne studije (Liu et al., 2013). Emrouznejad i Jang (Emrouznejad & Yang, 2018) takođe daju detaljan prikaz modela analize obavljanja podataka i njenu primenu.

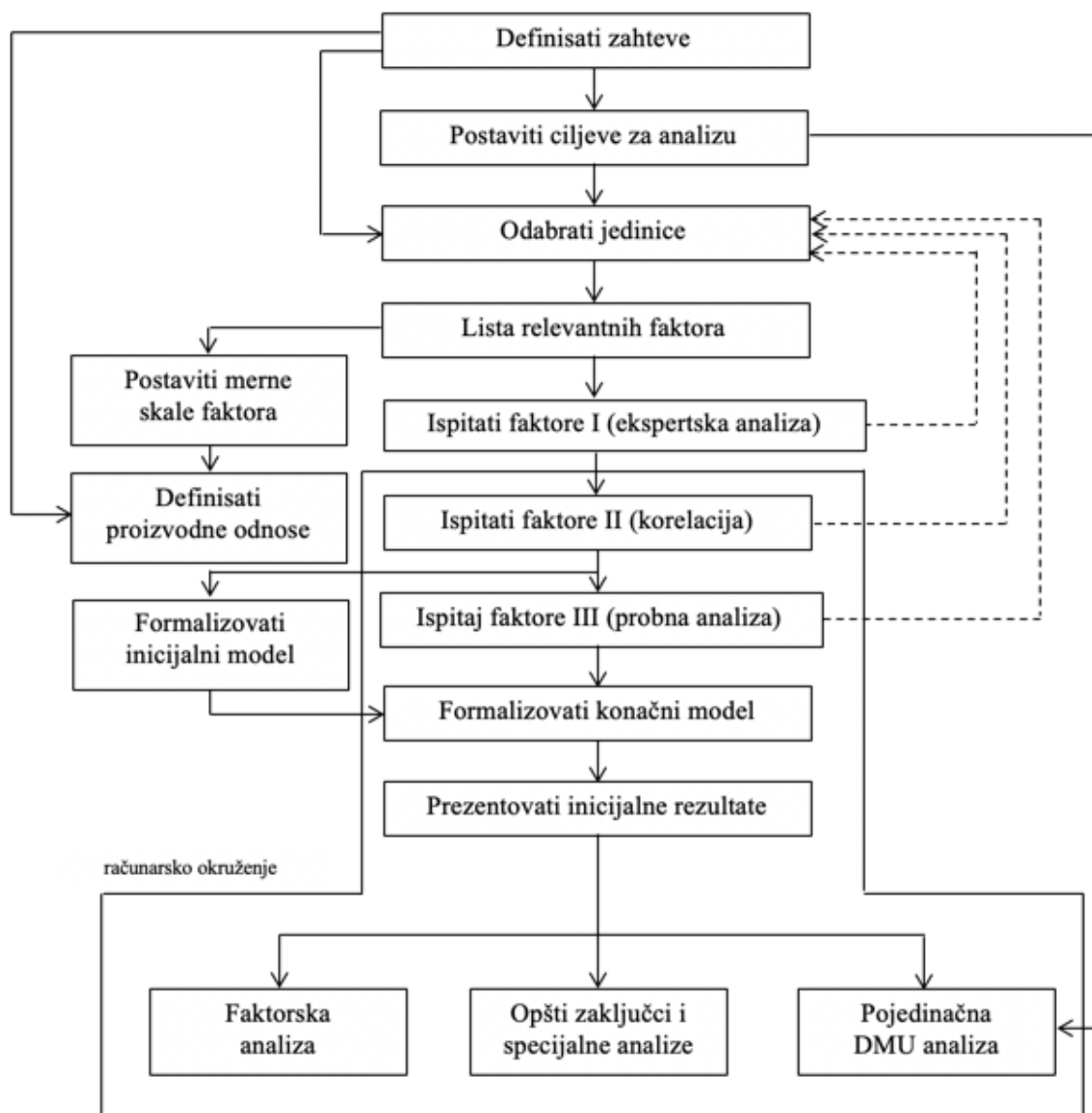
Neke od varijacija DEA modela su date u ovoj disertaciji. Banker i Morej (Banker & Morey, 1986a) su razvili model koji uključuje kvalitativne ulaze i izlaze; Golany i Roll (1989) su predložili model gde su težinski koeficijenti ulaza-izlaza ograničeni na određene opsege vrednosti. Osnovni DEA modeli omogućavaju punu fleksibilnost u izboru težina ulaza i izlaza. Međutim, te težine mogu biti u suprotnosti sa prethodnim znanjem ili prihvaćenim pogledima relativnog značaja ulaza i izlaza. Primena DEA metode u rešavanju realnih, praktičnih problema je podstakla razvoj metoda za procenu vrednosti. To je deo studije evaluacije efikasnosti koji odražava željene prioritete donosilaca odluka u procesu. Uvođenje dodatnih ograničenja za težinu ili ograničenja koja su osnova za procenu vrednosti ulaza i izlaza vodi do suženja ili proširenja granice efikasnosti. Više o mogućnostima ograničavanja težine i virtuelnih ulaza i izlaza, kao i

originalna rešenja, može se naći u Martić (1999) i Sarico i Dajson (Sarrico & Dyson, 2004).

Dakle, evidentno je da su rezultati analize obavijanja podataka osetljivi na izbor ulaza i izlaza odnosno određivanje homogenog skupa jedinica koji će se ocenjivati. U cilju postizanja što veće robusnosti analize razvijena je procedura primene DEA metode. Ona je detaljno opisana u literaturi. Na primer, Kuk i sr. (Cook et al., 2014) daju objašnjenja i uputstva na osnovu istraživanja o mnogim pitanjima koja se odnose na korišćenje analize obavijanja podataka, koja uključuju izbor modela orijentacije, selekciju/definiciju ulaza i izlaza, korišćenje mešovitih i sirovih podataka, broj ulaza i izlaza koji se koriste u odnosu na broj DMU. U mnogim slučajevima prethodno objavljenih istraživanja, DEA zajednica, istraživači, praktičari i recenzenti mogu imati često neispravne poglede na ova pitanja - trebalo bi da vode računa da je DEA pre svega metoda za procenu performansi i koliko su puta su bile uzorne jedinice za neefikasne DMU. DEA se može posmatrati kao alat za ocenjivanje višekriterijumskih problema gde su jedinice o kojima se odlučuje alternative i svaka jedinica o kojoj se odlučuje je predstavljena svojim performansama u više kriterijuma koji su klasifikovani kao DEA ulazi i izlazi. Osnovna svrha ovog rada je da se podigne svest o ovim pitanjima, kao i da ponudi neke savete i mišljenja u tom pogledu, posebno jer se očekuje da će se DEA i dalje razvijati i primenjivati u različitim oblastima. Iako ne postoji čarobna formula ili model koji može da garantuje da neko obuhvata sve mere performanse, pre 25 godina je objavljen rad koji pruža detaljan postupak o izboru DEA ulaza i izlaza i jedinica o kojoj se odlučuje: Golani i Rol (Golany & Roll, 1989) u svojoj studiji prikazuju neke od razvoja DEA modela i organizuju stečena iskustva u sistematičnu proceduru primene. Zbog izuzetno širokih i heterogenih područja u kojima DEA može biti primenjena, predložena procedura je data isključivo kao opšta smernica. Navedene su tri glavne faze u obavljanju studija efikasnosti pomoću DEA metode:

1. definisanje i izbor jedinica o kojoj se odlučuje koje se uključuju u analizu,
2. određivanje faktora ulaza i izlaza koji su relevantni i pogodni za procenu relativne efikasnosti izabranih jedinica o kojoj se odlučuje i
3. primena DEA modela i analiza rezultata.

Svaka od ovih faza obuhvata nekoliko koraka. Kompletna predložena procedura je prezentovana dijagramom toka na slici 2:



Slika 2. Dijagram toka primene DEA (Golany i Roll, 1989., strana 240)

Dijagram na slici 2. pokazuje da se prvo na osnovu zahteva donosilaca odluka, postavljaju ciljevi analize efikasnosti i definiše skup jedinica koji se procenjuju Na osnovu postavljenih ciljeva i raspoloživih podataka kreira se lista relevantnih faktora koji će se posmatrati kao ulazi i izlazi i na osnovu inicijalne ekspertske i korelacione analize se definiše konačna lista faktora onosno lista ulaznih i izlaznih kriterijuma. Zatim se bira DEA model (definiše se odgovarajući prinos na obim, orijentacija modela i dodatni

zahtevi) koji će se koristiti u analizi i predstavljaju inicijalni rezultati. Na osnovu dobijenih rezultata može se vršiti faktorska analiza i druge vrste specijalizovanih analiza na nivou posmatranog skupa ili na nivou pojedinačnih jedinica o kojima se odlučuje.

U specijalizovane analize spada i rangiranje jedinica u posmatranom skupu. Kao što je već rečeno, bitna karakteristika DEA modela je da se skup posmatranih jedinica  $N$  dele na podskup efikasnih koje imaju indeks efikasnosti jednak 1 i podskup neefikasnih sa indeksom efikasnosti različitim od jedan. To znači da se efikasne jedinice ne mogu porediti međusobno. Zbog toga su za rangiranje efikasnih jedinica razvijene posebne analitičke procedure i modeli. Pregled analitičkih pristupa za rangiranje zasnovanih na DEA modelima je dat u radovima Adler i sr. (2002) i Jablonski (2012). Ovi pristupi su razvijeni kao modifikacije DEA modela ili njihovim povezivanjem sa drugim, najčešće višekriterijumskim, metodama. Potpuno rangiranje može zahtevati da se dopustiva oblast veoma suzi, što značajno ograničava fleksibilnost DEA metode u izboru težina za ulaze i izlaze. Pored toga, menadžment ne može uvek realistično da definiše region sigurnosti što otežava uvođenje dopunskih ograničenja u DEA modele. Zbog toga su razvijeni i drugi pristupi za rangiranje. Dalja razmatranja su pokazala da rešenje nije uvek jedinstveno sa obzirom da je moguće postojanje alternativne šeme težinskih koeficijenata koja daje iste vrednosti indeksa efikasnosti. Za prevazilaženje ovog problema može se koristiti ciljno programiranje za izračunavanje indeksa efikasnosti (Adler i sr., 2002). Takođe, pored prosečne vrednosti mogu se koristiti i druge statističke mere, kao što su medijana, varijansa ili odstupanje od prosečne efikasnosti svih jedinica sa kojima se DMU $k$  poredi (tzv. „maverick index“). DEA modeli za procenu unakrsne efikasnosti su korišćeni su kao osnova za formiranje modela za raspoređivanje resursa.

Siford i Zu (Seiford & Zhu, 2002) su dokazali da se standardni DEA model može koristiti za poboljšanje performansi putem povećanja poželjnih rezultata i smanjenja neželjenih rezultata, koristeći klasifikaciju BCC DEA invarijantnosti i dali alternativnu metodu u radu sa poželjnim i nepoželjnim faktorima u DEA (linearna monotona transformacija smanjenja se primenjuje za tretiranje neželjenih izlaza tako da izlazno-orijentisani BCC DEA model dozvoljava ekspanziju željenih rezultata i smanjenje neželjenih rezultata). Ovakav pristup se može takođe primeniti u situacijama kada neki od ulaza treba da se poveća kako bi se poboljšale performanse.

Procena efikasnosti pomoću analize obavljanja podataka se može vršiti sa više aspekata u zavisnosti od izabranih modela. Pošto se DEA intenzivno razvija i primenjuje u različitim oblastima postoji veliki broj modela. Pregled modela je detaljno prikazan u preglednom radu koji su Kuk i Seiford (Cook & Seiford, 2009) objavili povodom 30 godina razvoja DEA metode. Autori u ovoj studiji navode dva osnovna pravca promene granice efikasnosti. Prvi pravac podrazumeva isključivanje slabo efikasne DMU iz proizvodnog skupa koji formira granicu efikasnosti, odnosno formiranje „najbliže“ granice efikasnosti punih dimenzije koja se graniči sa osama prvog kvadranta i sledi princip Pareto efikasnosti. Drugi pravac podrazumeva uvođenje virtulene DMU koja proširuje postojeću granicu efikasnosti.

U nekim slučajevima se dešava da model za procenu superefikasnosti nema dopustivo rešenje. Ovakva situacija se može javiti, kao posledica lošeg skaliranja, kada se pretpostavi varijabilni prinos na obim (VRS). Jedno od rešenja ovog problema je predložio Čen (Chen, 2004). Sugerise se rešavanje i ulazno i izlazno orijentisanog VRS DEA modela za ocenu superefikasnosti. Međutim i kod ovog pristupa se javlja problem ako je rešenje nedopustivo u oba slučaja. Drugo rešenje (Cook et al., 2008) podrazumeva da je cilj pronaći minimalne neophodne promene u vrednostima ulaza i izlaza istovremeno (minimalna pomeranja DMU) da bi se dostigla granica efikasnosti.

Jedan od pristupa za ocenu superefikasnosti daju Vang i sr. (Wang et al., 2007) i uvode koncept optimističke i pesimističke efikasnosti, zasnovan na modifikovanim primalnim modelima (iz skupa ograničenja kada optimalne težine za  $k$ -tu DMU moraju zadovoljavati uslov da za svaku od  $n$  DMU njen virtuelni izlaz ne može biti veći od njenog virtuelnog ulaza, izostavljaju ono ograničenje koje odgovara  $DMU_k$ ). Optimistička efikasnost se određuje pomoću standardnih DEA modela, a superefikasnost pomoću prethodno pomenutih modela. Pesimistička efikasnost se računa tako što se u funkciji cilja primalnog modela minimizira virtuelni izlaz i formira odgovarajući dualni model, dok bi se kod izlazno orijentisanog modela maksimizirao virtuelni ulaz. Konačna ocena efikasnosti se dobija kao geometrijska sredina ove dve ocene.

Andersen-Petersenov DEA model (Andersen & Petersen, 1993) za rangiranje podrazumeva da se u dualnom CCR modelu pri definisanju ulazno-izlaznog miksa kompozitne jedinice ne uzima u obzir  $DMU_k$  čija se efikasnost ocenjuje. Na taj način se

efikasna jedinica upoređuje sa novom granicom efikasnosti koja se formira ne uzimajući ovu jedinicu u obzir. Ovako modifikovani ulazno-orijentisani DEA modeli omogućavaju da se efikasne jedinice rangiraju slično kao neefikasne na osnovu indeksa efikasnosti koji je veći ili jednak 1. Indeks efikasnosti koji daje ovaj model predstavlja maksimalno moguće proporcionalno povećanje ulaznih nivoa pri kom jedinica ostaje efikasna. Do sada su izložene modifikacije koje su Andersen i Petersen (1993) predložili za ulazno orijentisane CCR modele. Analogne modifikacije važe i za izlazno orijentisane modele.

Sa druge strane, Banker i Čang (Banker & Chang, 2006) su dokazali da se Andersen-Petersenov model može uspešno koristiti za otkrivanje nestandardnih opservacija (*outlier*), iako nije uvek pogodan za rangiranje. Praksa je da se iz analize isključuju opservacije čiji je indeks efikasnosti veći od 3 kod ulazno orijentisanih modela pošto se na taj način unosi „šum“ u analizu i dovode do toga da ne postoji dopustivo rešenje problema rangiranja ako se pretpostavi varijabilni prinos na obim.

Neki od pristupa rangiranju podrazumevaju korišćenje uzornih jedinica za rangiranje kao što je navedeno u radu Adler i sr. (2002). Efikasne jedinice se rangiraju prema broju pojavljivanja u skupu referentnih jedinica, odnosno prema tome koliko puta su bile uzor (*benchmark*) nekoj neefikasnjoj DMU. Drugi pristup pretpostavlja uvođenje fiktivne idealne DMU\* čije će vrednosti ulaza biti minimalne, a vrednosti izlaza maksimalne u odnosu na sve ostale DMU u posmatranom skupu. Prema tome, DMU\* ima bolje performanse od svih ostalih jedinica u posmatranom skupu, tako da će indeks efikasnosti svim realnih DMU biti manji od 1, čime je omogućeno njihovo rangiranje. Ovaj pristup je problematičan kada se uvede varijabilni prinos na obim, pošto se može desiti da su neke DMU neuporedive sa DMU\* prema obimu poslovanja i biće efikasne, a rangiranje onemogućeno.

Sličan pristup sa uvođenjem novih agregiranih jedinica je primenjen u radu Lotfi i sr. (2011). Uvodi se  $|N| + 1$  agregirana jedinica. Jedna DMU\* se formira tako što se za vrednost ulaza/izlaza uzme zbir ulaza/izlaza svih jedinica u posmatranom skupu. Ostale agregirane jedinice  $DMU_k^*$  se formiraju tako što se za vrednost ulaza/izlaza uzme zbir ulaza/izlaza svih DMU u posmatranom skupu iz koga je isključena  $DMU_k$ . Efikasnost  $DMU_k$  ( $e_k$ ) se računa kao razlika efikasnosti agregirane jedinice DMU\* ( $e^*$ ) i efikasnosti agregirane jedinice  $DMU_k^*$  ( $e_k^*$ ) koje se dobijaju primenom odnornih DEA modela.



Efikasnost  $e_k = e^* - e_k^*$  pokazuje koliki uticaj na generičku efikasnost ima isključivanje iz proizvodnog skupa  $DMU_k$  koja se procenjuje. Ona  $DMU$  koja ima najveći uticaj imaće i najveći vrednosti indeksa efikasnosti biće rangirana na prvo mesto.

Način na koji se izračunava efikasnost i unakrsna efikasnost i njihovo značenje su detaljno prikazani u radu Dojla i Grina (Doyle & Green, 1994). Matrica unakrsne efikasnosti je matrica dimenzije  $|N| \times |N|$  u kojoj vrednost na polju  $(i, j)$  predstavlja relativnu efikasnost jedinice  $DMU_j$  sa optimalnim vrednostima težinskih koeficijenata za ciljnu jedinicu  $DMU_i$ . Vrednosti na glavnoj dijagonali su predhodno dobijeni indeksi efikasnosti  $DMU_k$  ( $k \in N$ ). Na osnovu vrednosti unakrsne efikasnosti moguće je izvršiti rangiranje posmatranih jedinica.

Podinovski (2007) razvija matematički postupak pogodan za praktičnu primenu modela koji uključuju proširenje posamtranog skupa (PPS – *production possibility set*) odnosno kreira kompromise između ulaza i izlaza, ili na osnovu njih, težinska ograničenja. U studiji se prikazuje standardni dvofazni postupak optimizacije obično korišćen u DEA za testiranje pune efikasnosti jedinica i identifikovanje njihovih ciljeva za postizanje pune efikasnosti, kao i da takva procedura nije odgovarajuća jer može da dovede do pogrešne identifikacije ciljeva i referentnih skupova. U novom, predloženom algoritmu, druga faza standardnog postupka se deli na dva dela, tako da se ceo postupak sastoji ukupno od tri faze: prvo se ocenjuje radijalna efikasnost jedinice (slično kao i u prvoj fazi standardnog dvofaznog postupka – u zavisnosti od toga da li su ulazi minimizirani ili izlazi maksimizirani, rešava se model uz pretpostavku dodatnog uslova normalizacije vektora intenziteta, koji će doprineti pravilnom identifikovanju radijalnih ulaza ili izlaza efikasnosti  $DMU_k$  i njen radijalni cilj koji se nalazi na PPS), zatim se vrši identifikacija ciljeva za neefikasnu  $DMU$  i na kraju, u trećoj fazi, identifikuje se odgovarajući referentni skup efikasnih jedinica  $DMU_k$ . Druga i treća faza zahtevaju rešavanje linearnih programa razvijenih u studiji za svaku jedinicu posebno.

## 2.2. Raspoređivanje izvršilaca aktivnosti

Problem raspoređivanja ili problem izbora izvršilaca aktivnosti se jednostavno može posmatrati kao specijalan zadatak transportnog problema (Krčevinac et al., 2006). Pretpostavlja se da je na nekom projektu potrebno izvršiti aktivnosti iz skupa  $A$  pri čemu svaki svaki izvršilac iz skupa  $I$  može da bude raspoređen na samo jednu aktivnost i svaka aktivnost se može realizovati od strane samo jednog izvršioca. Za svaku kombinaciju izvršilac-aktivnost, poznata je efikasnost  $c_{ij}$ , ( $i \in I, j \in A$ ). Zadatak izbora izvršilaca aktivnosti se može definisati na sledeći način: potrebno je odrediti vrednost promenljivih  $x_{ij} \in \{0,1\}$ , ( $i \in I, j \in A$ ), gde promenljiva dobija vrednost 1 ako je izvršilac  $i$  izabran da realizuje aktivnost  $j$ , tako da se maksimizira ukupna efikasnost izvršavanja svih aktivnosti na datom projektu. Matematički model raspoređivanja (2.44-2.47) pripada klasi modela celobrojnog (binarnog) linearnog programiranja.

$$\max \sum_{i \in A} \sum_{j \in I} c_{ij} x_{ij} \quad (2.44)$$

p.o.

$$\sum_{j \in I} x_{ij} = 1, i \in A \quad (2.45)$$

$$\sum_{i \in A} x_{ij} = 1, j \in I \quad (2.46)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i \in I, j \in A \quad (2.47)$$

gde ograničenje 2.45 obezbeđuje da svaku aktivnost izvršava tačno jedan izvršilac, a ograničenja 2.46 obezbeđuje da jedan izvršilac realizuje tačno jednu aktivnost. Preduslov za egzistenciju dopustivnog rešenja definisanog problema je da je broj izvršilaca jednak broju aktivnosti ( $|I| = |A|$ ). Ukoliko to nije slučaj, ograničenja se mogu modifikovati i definisati kao nejednakosti tipa manje ili jednako, čime bi se osiguralo postojanje dopustivog rešenja. Ograničenje 2.47 govori da je izvršilac  $i$  dodeljen aktivnosti  $j$  ukoliko je vrednost  $x_{ij}$  jednaka 1. Ovaj problem se takođe može posmatrati kao problem

kombinatorne optimizacije gde postoji  $n!$  kombinacija ako je  $n = |I| = |A|$ . Prikazani model (2.44-2.47) se može rešavati egzaktno primenom metoda kao što je metoda grananja i ograničavanja (Land & Doig, 1960). Međutim zbog specifičnosti predstavljenog modela razvijen je i veliki broj specijalizovanih polinomijalnih algoritama za njegovo rešavanje. Jedan od najpoznatijih je tzv. Mađarska metoda (Munkres, 1957).

Pored osnovnog problema raspoređivanja (izbora izvršilaca) razvijene su i modifikacije i generalizacije problema i u skladu sa tim i različiti algoritmi i pristupi njegovom rešavanju (Burkard, Dell'Amico & Martello, 2012). Generalizovani problem izbora izvršilaca podrazumeva da je za svakog izvršioca  $i$  definisana vrednost, odnosno cena rada na  $j$ -toj aktivnosti  $w_{ij}$ , ( $i \in I, j \in A$ ) i maksimalna vrednost njegovog rada  $b_i$ , ( $i \in I$ ). Problem se svodi na raspoređivanje izvršilaca na aktivnosti tako da se maksimizira ukupna efikasnost, a da se ne pređe definisani budžet za svakog izvršioca (2.48-2.51).

$$\max \sum_{i \in A} \sum_{j \in I} c_{ij} x_{ij} \quad (2.48)$$

p.o.

$$\sum_{i \in A} w_{ij} x_{ij} \leq b_i, j \in I \quad (2.49)$$

$$\sum_{j \in I} x_{ij} = 1, i \in A \quad (2.50)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i \in I, j \in A \quad (2.51)$$

Kod ovog problema je jasno da se jedan izvršilac može rasporediti na više aktivnosti, dok svaku aktivnost obavlja samo jedan izvršilac. Ukoliko jedan izvršilac može da obavlja samo jednu aktivnost i ako je cena rada jednaka 1, problem (2.48-2.51) se svodi na problem raspoređivanja (2.44-2.47). Sa druge strane, ako se ne menja cena i efikasnost sa promenom aktivnosti, problem se svodi na višestruki problem ranca, a ako se raspoređuje samo jedan izvršilac, problem se svodi na klasičan problem ranca (2.52-2.54) gde je potrebno izabrati aktivnosti ( $i \in A$ ) koje će se realizovati sa zadatim budžetom  $b_i$ .

$$\max \sum_{i \in A} c_i x_i \quad (2.52)$$

p.o.

$$\sum_{i \in A} w_i x_i \leq b, \quad (2.53)$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in I \quad (2.54)$$

Generalizovani problem raspoređivanja je, kao i osnovni model izbora izvršilaca aktivnosti, *NP* težak problem i rešava se egzaktno za slučaj manjih dimenzija, kao i primenom specijalizovanih približnih algoritama i heuristika (Cohen, Katzir i Raz, 2006).

Pentico (2007) daje pregled varijacija problema raspoređivanja koji su se pojavili u literaturi u poslednjih 50 godina. Kreće od klasičnog problema raspoređivanja, originalne verzije, preko klasičnog problema raspoređivanja priznavanja kvalifikacije agenta pa sve do složenih problema multidimenzionalnog raspoređivanja. Burker i sr. (2011) su takođe prikazali detaljan pregled modela raspoređivanja i njihove složenosti, koji se mogu smatrati kao *NP* teški ako se rešavaju kao optimizacioni problem ili *NP* kompletni ako se posmatraju kao problem odlučivanja. Problemi raspoređivanja se najčešće modeliraju u klasi celobrojnog programiranja. Burker i sr. (2011) su modele raspoređivanja svrstali u 4 grupe u zavisnosti od problema koji se rešava:

1. modeli usmereni na raspoređivanje na permanentne poslove;
2. modeli raspoređivanja zasnovani na fluktuaciji;
3. modeli raspoređivanja zasnovani na mobilnosti;
4. projektno-orijentisani modeli raspoređivanja.

U ovoj disertaciji fokus je na problemima četvrte grupe tj. projektno-orijentisanim problemima. Ne postoji univerzalni model raspodele resursa na aktivnosti projekta. Najčešće se definiše model polazeći od mrežnog dijagrama plana projekta koji predstavlja aciklični usmereni graf  $(V, A)$  gde je  $V$  skup čvorova, a  $A$  skup grana. Dat je skup aktivnosti  $j \in V$  koje je potrebno realizovati (Burker et al., 2011). Za svaku aktivnost je potrebno najmanje  $D_j(k)$  izvršilaca u periodu  $k$ . Podrazumeva se da je poznato trajanje

aktivnosti  $t_j$ , i da su sve prethodne aktivnosti završene prema planu u trenutku početka  $E_j$  za aktivnost  $j$ . Cilj modela (2.55-2.59) je da se minimizira vreme realizacije projekta izborom određene šeme rada i skupa raspoloživih šema  $s \in S$  za svakog zaposlenog  $c \in C$ .

$$(\min) C \max \tag{2.55}$$

p.o

$$E_j + t_j \leq C \max, \forall j \in V \tag{2.56}$$

$$E_i + t_i \leq E_j \max, \forall (i, j) \in A \tag{2.57}$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{c \in C} x_{cs}(s(j, E_j + t - 1)) \geq D_j(t), \forall j \in V, t = 1, \dots, t_j \tag{2.58}$$

$$x_{cs} \in \{0, 1\}, s \in S, c \in C, E_j \geq 0, j \in V \tag{2.59}$$

Prvo ograničenje modela 2.56 obezbeđuje da se projekat završi u roku, ograničenje 2.57 obezbeđuje da aktivnost  $j$  ne može da počene pre nego što se završe sve aktivnosti koje joj prethode. Ograničenje 2.58 obezbeđuje angažovanje dovoljnog broja zaposlenih na aktivnosti  $j$  u periodu realizacije  $t$ . Zaposleni se angažuju prema unapred zadatoj šemi rada  $cs$  ako je vrednost promenljive  $x_{cs}$  ( $s \in S, c \in C$ ) jednaka 1 što je dato u ograničenju 2.59. Prema tome ovo je problem celobrojnog programiranja i ako se rešava kao optimizacioni problem spada u grupu *NP* teških problema. Ovako definisani problem se može rešavati i kao problem pokrivanja skupova. Crhistofides i Korman (1975) daju pregled raspoloživih metoda za rešavanje problema pokrivanja skupova kao to su na primer: kombinatorno pretraživanje stabla, specifičan tip celobrojnog programiranja i varijanta klasičnog pristupa primenom Bulove algebre. Glavni cilj je bio da se utvrdi efikasnost računanja i relativne prednosti različitih predloženih algoritama. Sapkota i Rajli (Sapkota & Reilly 2011) opisuju metodologiju za generisanje slučajnih instanci problema pokrivanja skupa sa poznatim optimalnim rešenjima i indukovanom korelacijom između koeficijenata funkcije cilja i kolone suma koeficijenata ograničenja. Neočekivani rezultat ovog istraživanja je da opseg broja ograničenja za simulirane

instance sa poznatim optimalnim rešenjima zavisi od vrednosti sume kolona ograničenja u poznatom optimalnom rešenju.

Kao što je već istaknuto raspoređivanje resursa, kao važno pitanje nauke o menadžmentu, privuklo je dosta pažnje i istraživača i korporativnih menadžera. U poslednjih nekoliko godina, DEA se sve popularnija metoda u ovoj oblasti. Detaljan pregled primena DEA modela za raspoređivanje resursa biće dat u sledećem poglavlju.

### **3. Raspoređivanje konsultanata na aktivnosti projekata**

U ovom poglavlju će najpre biti prikazan opis problema koji će se rešavati, a zatim će biti dat pregled literature koji se odnosi na raspoređivanje resursa u opštem smislu kao i na primene DEA modela u upravljanju projektima i raspoređivanju ljudskih i materijalnih resursa.

#### **3.1. Opis problema**

Osnovni resurs koji se koristi pri realizaciji projekta jeste ljudski resurs. Optimalno raspoređivanje resursa na sve aktivnosti projekata je jedan od osnovnih problema koji se javlja pri njihovoj realizaciji. Poseban akcenat se stavlja na raspoređivanje ljudskih resursa, uz poštovanje ograničenja radnog vremena, kvalifikacija (Greiner & Ennsfellner, 2010) i iskustva u obavljanju zahtevanih zadataka. Specifično za ovu disertaciju je to što će se razmatrati konsultanti koji su obučeni da realizuju različite aktivnosti i poseduju znanja i veštine pa mogu biti raspoređeni na različite pozicije pri realizaciji projekata. Posmatrani problem je veoma složen s obzirom da pojedini konsultanti mogu da se angažuju na više različitih aktivnosti na projektima i formiraju timove različite strukture i efikasnosti.

Projektni tim je grupa odgovornih ljudi za planiranje i izvršavanje aktivnosti na projektu (PMBOK® GUIDE, 2017), uključuje vođu projekta i različiti broj članova projektnog tima koji su angažovani da isporuče na vreme proizvod i/ili usluge prema ugovorenom planu i rasporedu.

Vođa (menadžer) projekta je osoba odgovorna da obezbedi da projektni tim uspešno završi projekat. Vođa projekta formira projektni plan sa timom i upravlja performansama projektnih zadataka. Takođe je odgovoran da obezbedi prihvatanje i odobrenje isporučenog projekta od strane sponzora projekta i drugih zainteresovanih strana. Vođa projekta je odgovoran za komunikaciju, uključujući izveštavanje o statusu aktivnosti na projektu, upravljanje rizikom, eskalaciju problema koji ne mogu biti rešeni

unutar tima i, uopšteno, da obezbedi isporuku projekta u okvirima budžeta, na vreme i u okvirima definisanog opsega projekta.

Članovi projektnog tima su odgovorni za izvršavanje zadataka i sprovođenje isporuke u skladu sa projektnim planom kojim upravlja vođa projekta, bez obzira na nivo njihovog napora ili definisanog učešća. Tim uključuje tehničke članove, funkcionalne članove, program analitičare, specijaliste za dostavljanje podataka, konsultante sa dubokim znanjem procesa i softvera koji se implementira, sistem integratore, arhitekta rešenja, trenere koji će vršiti obuke, osobe koje će vršiti testiranja, i druge članove, u zavisnosti od ugovorenog projekta.

Na većim projektima, neki članovi projektnog tima dobijaju aktivnost i odgovornosti vođe funkcionalnog tima, koji su u obavezi da obezbede realizaciju dobijenih zadataka i sprovedu tehničko vođstvo članova svog tima. Pored vođe tima, u zavisnosti od veličine projekta, angažuju se arhitekta rešenja, koji vode računa o integrisanosti rešenja i implementaciji funkcionalnosti u skladu sa zahtevima korisnika, ujedno vršeći kontrolu kvaliteta isporučenog proizvoda i usluge.

Nadgledanje projekta i sistem kontrole postoji kako bi se smanjila odstupanja od projektnih planova. Sastoje se od identifikacije i izveštavanja o statusu projekta, poređenja sa planom, analiziranja odstupanja i sprovođenja odgovarajućih korektivnih mera (Hazir, 2015). Što više iskusnih konsultanata vođa projekta angažuje, to se manje problema očekuje pri njegovoj realizaciji. Sa druge strane, Hsu i sr. (2016) se u svojoj studiji bave kompleksnošću selekcije članova projektnog tima i istražuju kako funkcionalne različitosti tima i međuzavisnosti radnika utiču na performanse tima u različitim ekonomskim uslovima. Deljenje znanja je izuzetno važno kada zaposleni i eksterni konsultanti rade zajedno na projektu (Nesheim i Hunskaar, 2015).

Identifikacija strateških (strateško usklađivanje, prilagodljivost unutrašnjim i spoljnim promenama, kao i očekivane vrednosti portfolija) i operativnih atributa (vidljivost projekta, transparentnost u donošenju odluka i predvidljivost isporuke projekta) u radu Patanakula (Patanakul, 2015) dovodi do boljeg razumevanja efektivnosti upravljanja portfolijom projekta (PPM – *project portfolio management*). Praksa pokazuje da tačnost predviđanja isporuke projekta u velikoj meri zavisi od angažovanih konsultanata.



Projektini tim na svakoj poziciji obuhvata predstavnike kompanije koja traži implementaciju (korisnici) i predstavnike kompanije koja će implementirati ugovoreni projekat (izvođači). U ovoj disertaciji se analizira aspekt izvođača, koji je ugovorio projekat, a za implementaciju može koristiti sopstvene ljudske resurse (konsultante) ili angažovati podizvođače. Sa obzirom da istovremeno može da se odvija više projekata koji zahtevaju realizaciju više aktivnosti, za koje su potrebni konsultanti, vođe timova, arhitekta rešenja i vođe projekata, izvođaču je od izuzetne važnosti da minimizuje projektne troškove (zadržavajući visok kvalitet usluge), maksimalno angažuje interne konsultante optimalno ih raspoređujući na projekte (na osnovu njihovih veština, prethodnog radnog iskustva, efikasnosti, plana ličnog razvoja, interesovanja i potencijala, konsultanti mogu biti raspoređeni na različite pozicije na projektima), ispuni sve ugovorene obaveze prema korisnicima na vreme i u okvirima budžeta.

Raspoređivanje resursa će u ovoj disertaciji biti prikazano na konkretnom primeru raspoređivanja SAP konsultanata. SAP (pravi naziv kompanije: „*Systems, Applications and Products in Data Processing*”, kasnije samo preveden u skraćenoj formi kao „*Systems, Applications, and Products*” ili „*Systems, Applications, and Programs*”, kada je kompanija dobila međunarodnu ekspanziju) je integrisani poslovni paket i informacioni sistem, koji obuhvata najbolju poslovnu praksu zemalja širom sveta u poslednjih skoro 47 godine. Paket obuhvata različite poslovne oblasti, definisane opsegom projekta, u zavisnosti od potreba kupca. Može se implementirati na više jezika, sa više valuta, ispunjavajući različite zakonske regulative za poslovanje širom sveta. SAP integriše sve funkcionalne oblasti (module) u jedan osnovni proizvod i upravo pristup integrisanosti i zajednički rečnik podataka za sve oblasti ga izdvaja od drugih velikih ERP sistema (ERP – *Enterprise Resource Planning*). Korisnici često imaju početni stav da niko ne zna njihov posao bolje od njih samih, ili, da je njihov posao mnogo drugačiji i kompleksniji i da ni jedan aplikativni paket ne može da radi na način kako oni tačno žele. Upravo ovakvi stavovi su razlog zašto je SAP softver napravljen sa različitim ponuđenim metodama prilagođavanja (*customizing*), tako da se rešenje može napraviti na takav način da sistem funkcioniše upravo u skladu sa očekivanjima korisnika (blisko onome kako kompanija tačno želi), a sa druge strane se istovremeno održava konstantna stabilnost i fleksibilnost koji SAP čine atraktivnim na prvom mestu. Postoji veliki broj objavljenih knjiga (npr. Anderson et al., 2009; Martinez, 2009; Von Aspen, 2014), gde se može dobiti više detalja

o SAP-u i njegovom pristupu. Dakle, sa jedne strane postoje SAP konsultanti koji imaju sledeće karakteristike:

Zaposleni su u okviru kompanije (interni), angažuju se konsultanti kompanije koja vrši aktivnost podizvođača (eksterni), ili se dogovara podizvođački posao sa konsultantima koji imaju svoju firmu (*freelancer*).

Poseduju znanja iz SAP modula (eksperti za najmanje jedan SAP modul).

Poseduju sposobnosti da budu angažovani na različitim pozicijama na projektu (na osnovu višegodišnjeg iskustva, opširnog znanja, izgrađene reputacije).

Sa druge strane, više projekata je ugovoreno istovremeno da će se realizovati na kvalitetan način, u određenim vremenskim rokovima i budžetima. Svaki projekat je izuzetno važan ali oni ipak imaju određene prioritete, te je potrebno u skladu sa njima optimalno rasporediti konsultante u određenom vremenskom periodu na svaki od dogovorenih projekata. Pretpostavke raspoređivanja fiksnih troškova i zajedničkih resursa podrazumevaju zadržavanje dostignutog nivoa efikasnosti, a da pri tome sve posmatrane jedinice budu ravnomerno opterećene. Sa stanovišta menadžmenta postavljanje odgovarajućih ciljeva kao i adekvatno raspoređivanje resursa i troškova, od kojih u velikoj meri zavisi profit, su od ključnog značaja u procesu upravljanja.

Predmet istraživanja doktorske disertacije je upravo razvoj novog pristupa izboru konsultanata i njihovo optimalno raspoređivanje na određene pozicije na projektima. Kao što je prikazano u poglavlju 2., u modelu raspoređivanja (2.48-2.51) cilj je da se maksimizira ukupna efikasnost realizacije svih aktivnosti. Problem koji se javlja jeste kako izračunati efikasnost kada se razmatra više značajnih kriterijuma odnosno ključnih indikatora performansi.

Početne ideje za rešavanje ovog problema, zasnovane na pristupima opisanim u studijama Vejvej i sr. (Vayvay et al.,2012) i Martinović i Delibašić (2013), tokom vremena su proširivane novim aspektima. U razmatranje kao kriterijum za raspoređivanje uvodi se relativna efikasnost konsultanta koja se izračunava prema principima DEA metode. Osnovni DEA modeli i proširenja detaljno su opisivana u magistarskoj tezi (Popović, 2006) i doktorskim disertacijama (Martić, 1999) i (Savić, 2012) i u poglavlju 2 ove disertacije. DEA omogućava klasifikaciju posmatranih jedinica o kojoj se odlučuje na efikasne i neefikasne. Međutim, ako je potrebno postaviti ciljeve u skladu sa realnim

okruženjem ili izvršiti raspoređivanje fiksnih zajedničkih resursa, neophodno je izvršiti dodatne modifikacije modela i postaviti nove procedure primene. Prema tome, za ocenu efikasnosti biće izvršena modifikacija osnovnog DEA modela. Nakon toga će se izvršiti raspoređivanje konsultant-pozicija na projekat-poziciju sa ciljem maksimizacije efikasnosti svih konsultanata na svim projektima. Kako optimalni raspored treba da zadovolji „čvrsto“ definisane ali i određene „meke“ uslove, problem će biti postavljen kao model mešovito celobrojnog programiranja koji će se koristiti za dobijanje optimalnog rasporeda selektovanih konsultanata na konkretnim pozicijama projekata. Neophodno je da sve pozicije na projektima u svakom trenutku budu popunjene uz ograničenje broja sati angažovanja svakog konsultanta (dnevno/nedeljno/mesečno/nivo projekta). Očigledno je postavljeni problem kombinatorni, odnosno potrebno je pronaći optimalnu kombinaciju konsultant-pozicija na projekat-pozicija za sve projekte koji će se simultano realizovati. Za uspešno rešavanje ovog problema potrebno je postaviti adekvatne kriterijume za raspoređivanje.

Za određivanje optimalnog rasporeda predlaže se modifikovani DEA model pomoću koga se istovremeno određuje relativna efikasnost konsultanata za realizaciju pojedinih aktivnosti projekta i vrši njihovo raspoređivanje. U ovoj disertaciji su predložena tri modela koja rešavaju sledeće probleme:

- Određivanje efikasnosti konsultanta na pozicijama projekta kada postoje alternativni kriterijumi. Kao jedinica o kojoj se odlučuje (DMU) se posmatra kombinacija konsultant-pozicija.
- Raspoređivanje raspoloživih konsultanata na više pozicija jednog projekta. Kao DMU se posmatra kombinacija konsultant-pozicija.
- Raspoređivanje raspoloživih konsultanata na više pozicija na više projekata. Kao jedinica o kojoj se odlučuje DMU se posmatra kombinacija projekat-konsultant-pozicija.

Osnovna ideja je bila da se procedura realizuje kroz dve faze:

- DEA ocena efikasnosti (razvijen modifikovani DEA model sa uključenim XOR ograničenjima), gde je jedna DMU konsultant na određenoj poziciji – to znači da se svaki konsultant procenjuje onoliko puta koliko pozicija može da pokrije na osnovu istorije njegovog rada ili procene od strane

menadžera. Podaci za analizu efikasnosti su poznati i može se kreirati baza.

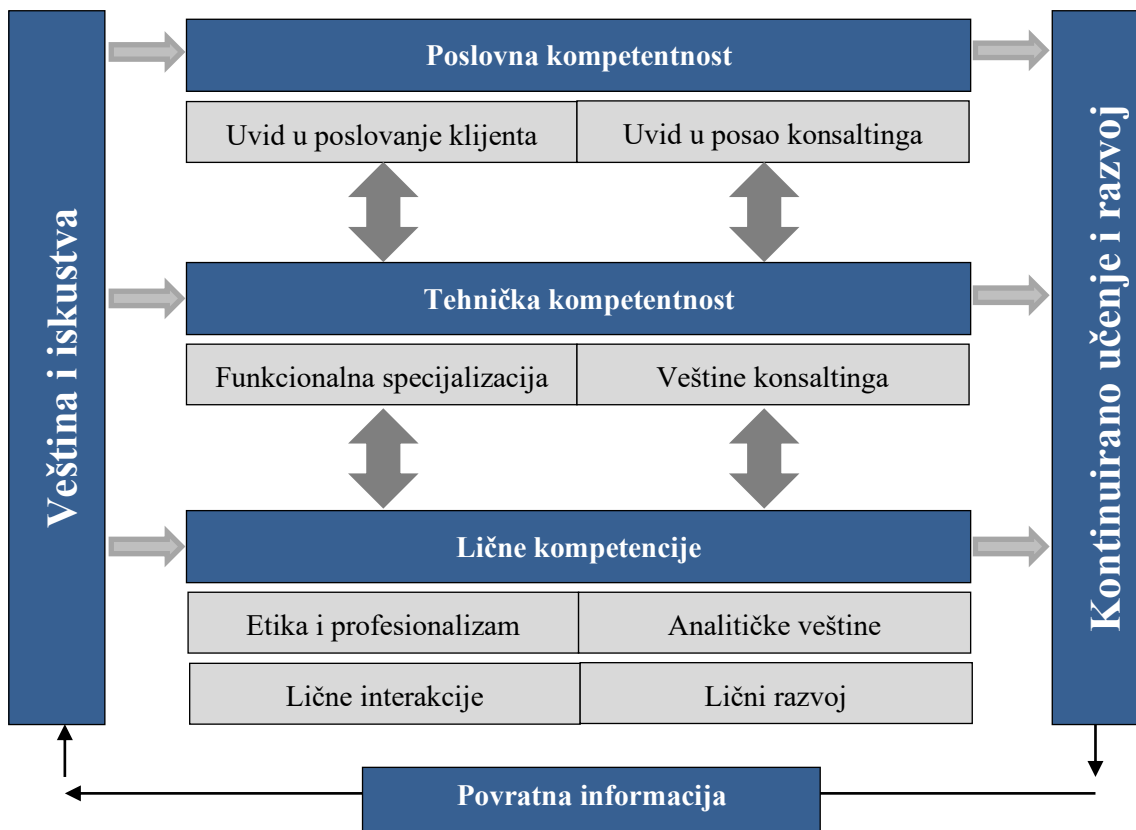
- Optimalno raspoređivanje konsultant-pozicija na projekat-pozicija sa ciljem maksimizacije efikasnosti svih konsultanata na svim projektima (razvijen model raspoređivanja kao model mešovitog celobrojnog programiranja). Neophodno je da sve pozicije u svakom trenutku budu popunjene ograničenjem na radno vreme svakog konsultanta.

Vremenom je pristup promenjen i predlaže se prošireni model koji kombinuje DEA i mešovito-celobrojno programiranje za istovremenu ocenu efikasnosti konsultanata na određenim pozicijama i njihovo raspoređivanje na pozicije tekućih projekata. Kontekst u kome se model razvija se odnosi na raspoređivanje više konsultanata na više pozicija (aktivnost ili aktivnosti) koji se realizuju na jednom ili više projekata.

### **3.2. Uloga konsultanata i problem njihovog raspoređivanja na projekte**

U ovom delu disertacije će biti dat prikaz studija u kojima se opisuje uloga konsultanata i načini na koji je rešavan problem njihovog raspoređivanja na projekte. Posebno će biti prikazan način raspoređivanja koji se trenutno koristi u ERP konsultantskim kućama.

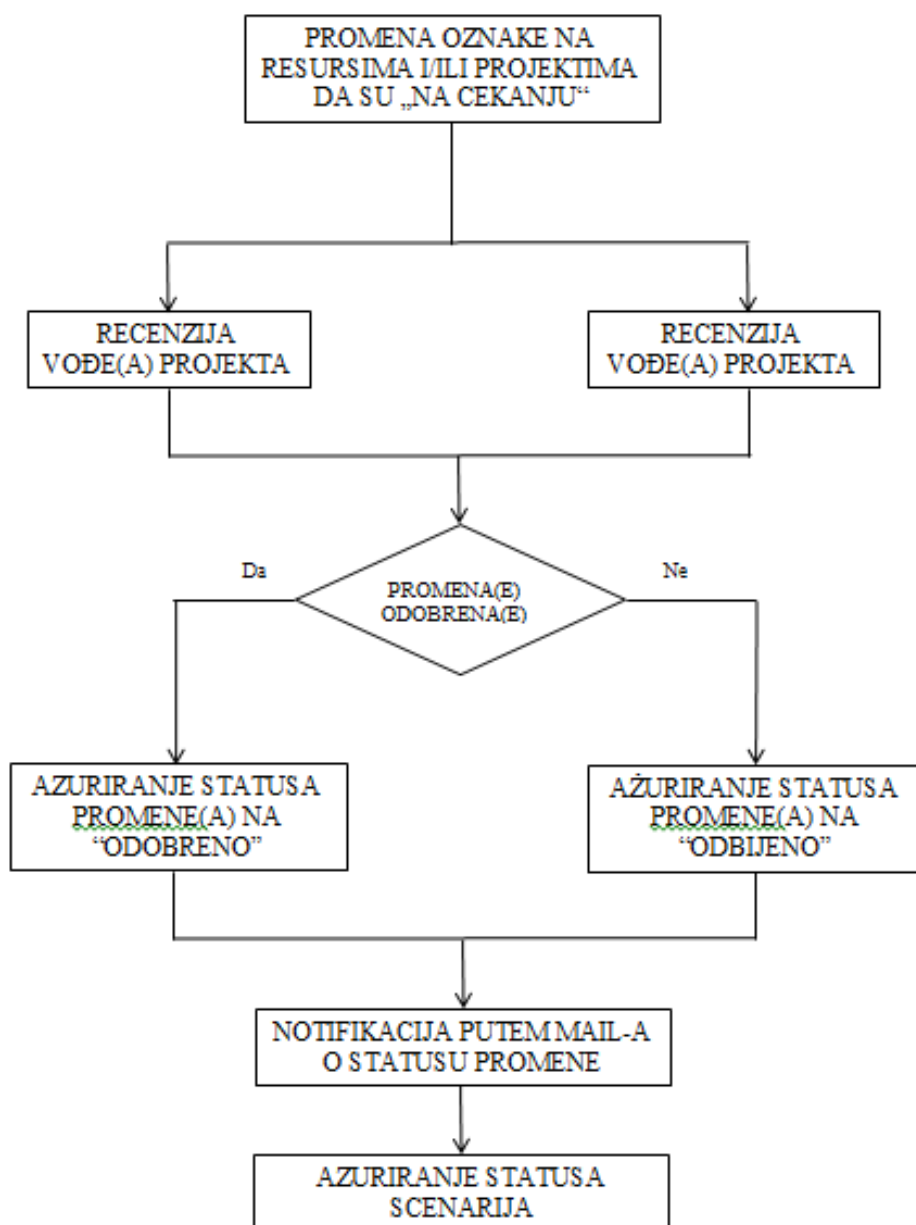
Važnost i uloga konsultanata su prikazane u mnogim radovima. Greiner i Ensfeler (Greiner & Ennsfellner, 2010) su objavili studiju u kojoj daju prikaz postojeće literature vezano za potrebne konsultantske kvalifikacije, imajući za cilj podizanje nivoa konsultantskih usluga na izuzetno visok, profesionalni nivo, kontinuiranim učenjem i razvojem. Dodatak A referentne studije detaljno opisuje ICMCI standarde (ICMCI – *International Council of Management Consulting Institutes*) prikazane slikom 3. Menadžment konsalting je prikazan kao profesija koja ispunjava određene uslove koji se odnose na karakter, kvalifikacije, iskustvo, nezavisnost i stručnost, prikazuje ICMCI standard i model kompetencije definisan u tri nivoa: poslovna kompetentnost, tehnička kompetentnost i kompetentnost vrednosti i ponašanja.



Slika 3. Menadžment konsalting (Greiner & Ennsfellner, 2010)

Upravljanje projektima uključuje planiranje, organizovanje, obezbeđivanje i/ili upravljanje resursima da dovedu do uspešnog završetka projekta vodeći računa o konkretnim ciljevima i zadacima projekta. Uobičajeni pristup je da vođe projekta ručno upravljaju resursima koristeći tehnike kao što su vodopad, iterativne/delimične ili agresivne tehnike. Na nivou program portfolija ili portfolija projekata, posebno u velikim organizacijama, kompleksnije je upravljanje sa više projekata nego što je to upravljanje jednim projektom. Veliki portfolijo projekata je obično predmet različitih subjektivnih i objektivnih ograničenja nametnutih od strane zainteresovanih strana (kao što su na primer portfolio menadžer, vođa projekta, i/ili korisnik). Dodatno, upravljanje portfolijom projekta je teže usled čestih značajnih fluktuacija u ograničenjima (npr. datum početka/završetka) i raspoloživosti resursa. U cilju rešavanja problema upravljanja

portfolijom projekata, organizacije dodeljuju pomoćnika vođi projekta (PMO – project management office) i/ili uključuju dodatno rezervna sredstva kao osiguranje od rizika, što utiče na povećanje cena/troškova a samim tim i finansijske efekte. Pored toga, vođa projekta i/ili PMO koriste dostupan programski paket kako bi imali pomoć u vođstvu projekta, obezbeđuje izveštavanje i analitičke alate koji omogućavaju prikaz rasporeda resursa na projekat u cilju olakšavanja donošenja odluka. Nedostatak ovakvih programa je u činjenici da se raspoređivanje resursa vrši ručno, što iziskuje ogroman napor i vreme, omogućava samo jedan prolaz po kriterijumima i dozvoljava veliki procenat greške. Kroeger i sr. (2012) su prikazali opisani problem, kao i metode i sistem koji optimizuje čitav portfolio projekata iz perspektive raspoređivanja i korišćenja resursa u U.S. patentu pod brojem 8,214,240. Poželjno je da sistem i metoda uzimaju u obzir objektivna (čvrsta) ograničenja (kao što su npr. raspoloživa sredstva, zahtevani datumi početka/završetka projekta, rizik, kritičnost, troškovi, isplativost investicije i slično) i subjektivna (mekka) ograničenja (npr. konkretno specificiranje resursa koji će raditi na projektu po imenu, tolerancije u isporučivanju svih projekata, ispunjavanje zahtevanog nivoa resursa, i dr.), kako bi se osiguralo da je ishod rezultata u potpunosti usklađen sa potrebama poslovanja. Jedan pristup upravljanju portfolija projekata je da se automatski rasporede sredstva za projekte koristeći ograničenja na projektnom nivou, a zatim odredi optimalni scenario raspoređivanja portfolija projekata koji će zadovoljiti jedan ili više kriterijuma optimizacije u vezi sa portfolijom, kao što su kriterijum korišćenja resursa, kriterijum raspoređivanja, kriterijum troškova, brzina vraćanja investicija (ROI – *return to investment*), kriterijum nivoa rizika, kriterijum zavisnosti između projekata, ili bilo koja njihova kombinacija. Jedan aspekt je da postoji kompjuterizovana metoda za optimaciju rasporeda resursa na projekte. Metoda obuhvata: (i) informacije o resursima, (ii) portfolio projektnih definicija i (iii) jedan ili više kriterijuma optimizacije na nivou portfolija. Informacije o resursima predstavljaju tipove resursa raspoloživih za raspoređivanje na projekte, a svaka definicija projekta uključuje jedinstveni identifikator i jedno ili više ograničenja na nivou projekta. Postupak takođe uključuje generisanje mnoštva scenarija alokacije za jedan portfolio projekata. Generisanje svakog scenarija uključuje dodeljivanje vrednosti svakom jedinstvenom identifikatoru i raspoređivanje jednog ili više resursa na osnovu jednog ili više identifikatora, sa zadatkom da bude zadovoljeno jedno ili više ograničenja na nivou projekta.



Slika 4 Grafički prikaz opšteg toka procesa raspoređivanja resursa i/ili promena na projektu (Kroeger i sr., 2012, U.S. Patent No. 8.214.240, slika 9)

Slika 4 ilustruje grafički prikaz opšteg toka procesa u vezi sa raspoređivanjem resursa i/ili promenama na projektu koje proizilaze iz izabranog scenarija. Sistem i metode za upravljanjem portfolijom projekata su predloženi da se omogući korisnicima da generišu različite scenarije raspoređivanja resursa na osnovu ograničenja za

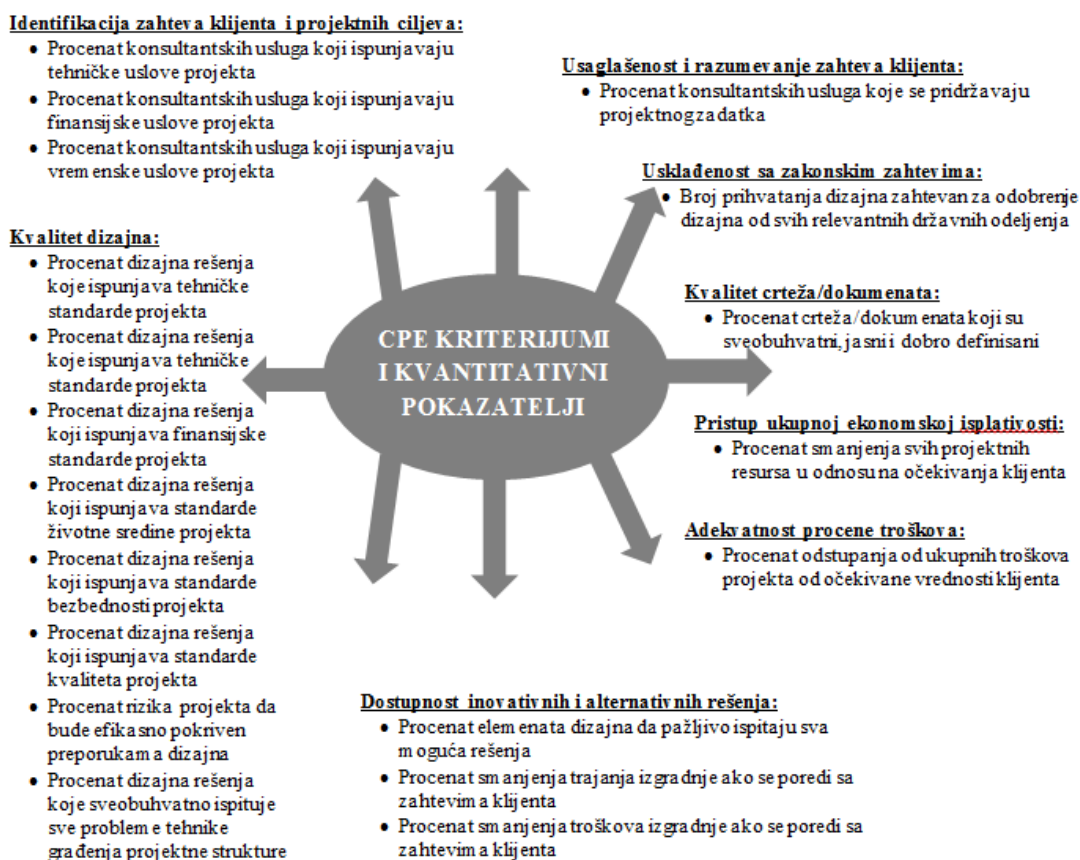
pojedinačne projekte i zadovolje jedan ili više kriterijuma optimizacije vezanih sa portfoliom projekata.

Problem kontrole ERP konsultanata su izučavali Čang i sr. (Chang et al., 2013) kroz studije slučaja. Rad konsultanata u korist klijenta je potencijalno problematičan, jer konsultanti moraju usvojiti ciljeve klijenta, koordinirati svoj rad sa zainteresovanim stranama, kao i integrisati implementaciju svog modula sa drugim ERP modulima. Kontrole su mehanizmi koji drže konsultante na pravom putu u skladu sa ciljevima organizacije klijenta. Njihove forme variraju u zavisnosti od prirode aktivnosti i nivoa stručnosti među klijentima i konsultantima. Određivanje moda kontrole se vrši na osnovu karakteristika zadatka, znanja kontrolora, posmatranja ponašanja tima i merljivosti ishoda, što kao rezultat daje kontrolu ponašanja, kontrolu ishoda, kontrolu grupe i samokontrolu. Autori daju tri predloga: 1. Organizacija klijenta bira ishod kontrole preko ERP konsultanata kako bi smanjila rizik i dostigla željene ciljeve; 2. Konsultantska firma bira kontrole ponašanja preko individualnih konsultanata kako bi osigurala da je potrebno znanje primenjeno prema ostvarivanju ciljeva projekta i 3. Konsultantska firma uključuje kontrolu ishoda preko individualnih konsultanata kako bi postigla ciljeve željene od strane klijenta.

Vrednovanje rada konsultanata (ECs – *Engineering Consultants*) je veliki izazov jer proces uključuje niz subjektivnih elemenata. Međutim, kako je učinak važna dimenzija za kvalifikaciju i izbor ECs, bilo bi korisno da se mogu prikupiti relevantni podaci od strane raznih klijenata. Raznolikost kriterijuma ocene učinka konsultanta (CPE – *Consultant Performance Evaluation*) i tumačenje nivoa performansi od strane različitih ocenjivača nesumljivo dovode u pitanje pouzdanost i transparentnost ocene učinka konsultanta. Čou i Ng (Chow & Ng, 2007) predlažu model analize fazi odstupanja (*fuzzy gap analysis model*), kako bi poboljšali praksu ocene učinka konsultanta. Oni pre svega identifikuju listu CPE kriterijuma i njihove odgovarajuće kvantitativne pokazatelje za fazu dizajna projekta. S obzirom da se nivo performansi za svaki od kvantitativnih pokazatelja može različito tumačiti od strane procenitelja, sprovode empirijsko istraživanje kako bi identifikovali niz mogućih vrednosti u svakoj od kategorija (performanse mogu biti ocenjene kao loše, prosečne, dobre, vrlo dobre i odlične). Model analize fazi odstupanja je predložen da bi olakšao ocenjivačima poređenje očekivanja klijenata jednog EC i može da poboljša pravičnost i transparentnost ovog tipa odluka.



Čou i Ng (Chow & Ng, 2004) su izneli niz kvantitativnih pokazatelja kako bi formalizovali proces ocenjivanja, kako je prikazano na slici 5:



Slika 5. Kriterijumi ocene učinka konsultanta (CPE) i odgovarajući kvantitativni indikatori (Chow & Ng, 2007), strana 426.

Da bi se ustanovili zahtevi (QRs – *Quantitative Requirements*) za svaki kvantitativni indikator u odnosu na zahtevani nivo performansi, prikupljeni su podaci od eksperata i stručnjaka nabavke. Anketa se sastoji iz dva dela: prvi deo ima cilj da prikupi lične podatke ispitanika, dok su u drugom delu upitnika ispitanici dužni da izraze svoju percepciju za svaki pokazatelj identifikovan u prethodnom radu ovih autora (Chow & Ng, 2004). Rezultati pokazuju da se performanse ECs u fazi projektovanja mogu tumačiti kroz nedeterministički opseg performansi, što bi moglo da se prevede u racionalna uputstva kako izbeći bilo kakvu različitost u tumačenju. Studija predlaže mapiranje jaza između odstupanja i rezultata, a okvir je razvijen kako bi se procenio učinak EC u fazi

projektovanja. Kroz model analize fazi odstupanja, ECs se ocenjuju u skladu sa njihovim stvarnim učinkom i usklađuju odstupanja od očekivanja klijenta.

Kada se uspostave kriterijumi i pokazatelji, oni se mogu koristiti kao osnova za raspoređivanje resursa (konsultanata). Raspoređivanja resursa na više projekata nije problem sam po sebi – to je pre izraz mnogo drugih, dubljih, organizacionih problema postavke više projekata. Engval i Jerbrant (Engwall & Jerbrant, 2003) u svojoj studiji istražuju uopštene izazove vezane za upravljanje sa više projekata. Raspoređivanje resursa na više projekata je proces pregovaranja, objašnjavanja i tumačenja i sigurno je mnogo kompleksniji problem nego što je tradicionalno bio razmatran.

Hendriks i sr. (1999) traže rešenje za predviđanje zadataka podeljenih u više delova i raspoređivanje najveštije osobe na takav zadatak, sa ciljem što efektivnijeg korišćenja ograničenih resursa organizacija koje se bave istraživanjem i razvojem (R&D – *Research and Development*). Optimizacija postojećeg procesa raspoređivanja resursa u velikoj R&D organizaciji je izvršena uvođenjem dva indikatora: faktora obima projekta i faktora ekspertize resursa. Dodavanjem ovih pokazatelja, proces raspoređivanja resursa je značajno pojednostavljen i što je najvažnije, dobijeni su bolji poslovni i projektni rezultati. Autori su otkrili da postoji pet elemenata koji su od vitalnog značaja za raspoređivanje ljudskih resursa u slučaju više projekata, i to: dugoročno raspoređivanje resursa (strateški poslovni proces), srednjeročno raspoređivanje resursa (kvartalno raspoređivanje resursa), kratkoročno raspoređivanje resursa (dnevno), veze (linkovi odnosno povezanost) i povratna informacija.

Mnogi radovi objavljeni u oblasti upravljanja projektima upućuju na raspoređivanje pojedinačnih projekata i vremenske ciljeve kao što je minimizacija trajanja projekta. Kako kompanije često upravljaju različitim projektima simultano koji dele ograničene resurse, potrebno je uzeti i druge ciljeve dodatno u odnosu na vremensko skraćenje projekta. Lova i sr. (2000) su razvili višekriterijumsku heuristiku koja poboljšava leksikografski dva kriterijuma: jedan je vremenskog tipa (utiče na odlaganje projekta ili povećanje trajanja više projekata) i drugi je ne-vremenskog tipa (podela projekta, popis procesa, usklađivanje resursa ili mirovanje resursa) koji korisnici mogu izabrati. Algoritam višekriterijumske heuristike se sastoji od nekoliko algoritama zasnovanih na unapređenju rasporeda izvodljivosti više projekata i otvoren je, u smislu

da se može prilagoditi da uključi nove ciljeve u vezi sa određenim potrebama preduzeća (nudi fleksibilnost kada se definiše raspored i kontrola projekata).

Laslo (2010) razvija i ocenjuje alternativni pristup za planiranje resursa i raspoređivanje koje može biti korisno za upravljanje portfolijom projekata. Metoda koja je predložena u studiji predstavlja nadogradnju postojećeg modela optimalnog raspoređivanja poslova na nekoliko mašina i isporukama sa ograničenjima verovatnoća. Ova metoda unapred određuje trenutak angažovanja i oslobađanja pojedinih stručnjaka u cilju maksimizacije ekonomske korisiti pri verovatnosnim ograničenjima isporuke. Rezultati ukazuju da je integrisano planiranje i raspoređivanje veoma koristan alat u procesu donošenja odluka i upravljanju portfolijom projekata.

Laslo i Goldberg (2008) istražuju da li je organizacioni konflikt neizbežan u okruženju više projekata u uslovima neizvesnosti pri raspoređivanju resursa. Konflikti se ne javljaju samo zbog različitih interesa jednog projekta i funkcionalnih rukovodilaca, već postoje i između menadžera različitih projekata. Veći organizacijski učinak se može postići kada menadžeri nauče da oni u osnovi nemaju razlike u stvarnim interesima i da se mogu dogovoriti oko politike raspoređivanja resursa. Simulacioni proces razvijen u ovoj studiji uvodi koncept protoka resursa unutar organizacije tokom procesa raspoređivanja: određuje se organizacioni zadatak; određuje se politika raspoređivanja resursa izborom jedne od tri ponuđene procedure (raspoređivanje raspoloživih kapaciteta među projektima na osnovu jednake proporcije; raspoređivanje kapaciteta na osnovu prioriteta projekta kako bi se zadovoljilo što je više moguće zahteva; po potrebi, angažovanje eksternih resursa usled nedovoljnog sopstvenog kapaciteta i raspoređivanje istih na svaki od projekata); planira se neograničeni program resursa; određuju se potrebe za resursima; usklađuju se kapaciteti resursa; raspoređuju se resursi na projekte; i vrši se dinamičko raspoređivanje tokom svakog planskog perioda.

E Silva i Kosta (E Silva & Costa, 2013) ukazuju na složenost zadatka koji se postavlja kada ljudske resurse treba rasporediti na više projekata, imajući u vidu broj stručnjaka koji poseduju nivo zahtevane ekspertize. Studija predstavlja metodologiju zasnovanu na dinamičkom programiranju, ima za cilj raspoređivanje ljudskih resursa na razvojne softverske projekte, a uzima u obzir složenost svakog projekta i postojeće sposobnosti osoblja, kao i veštine potrebne za projekat. Rezultati istraživanja daju

nekoliko doprinosa: uključuje se okruženje donosilaca odluka u kome vođa projekta kontroliše upravljanje ljudskim resursima (korišćenje i razvoj okvira za raspoređivanje ljudskih resursa); kombinuju se dinamičko programiranje i metodologija koja određuje podobnost skupa veština kandidata koji su u ponudi i veština zahtevanih za projekat: procenjuje se koliko i kojih profesionalaca, od ukupno raspoloživog broja, može biti dodeljeno za svaki projekat u cilju smanjenja potrebnog vremena za završetak projekta. Osnovna poruka ove studije jeste da se operaciona istraživanja (Krčevinac et al., 2004) mogu koristiti u procesu raspoređivanja ljudskih resursa kako bi se pomoglo donosiocu odluka. Predlažu se dalja istraživanja, koja bi obuhvatila uključivanje drugih ograničenja vezanih za prioritet sprovođenja projekta, deljenje ljudskih resursa na svakom projektu, delimično raspoređivanje ljudskih resursa, obzirom na obim promena koje utiču na preraspodelu osoblja, kao i procenu troškova.

Lombardi i Milano (2012) daju pregled studija vezanih za raspoređivanja resursa i planiranja vremenskog rasporeda: problemi vremenskog raspoređivanja su poznati da su NP-teški (NP-*hard*) i računski izazovni. Kao primer, poznata je biblioteka test primera PSPLIB (*Project Scheduling Problem Library*) koja uključuje klasične probleme raspoređivanja (RCPSP – *Resource Constrained Project Scheduling Problems*), kao i probleme raspoređivanja ograničenih resursa (MRCPSPP – *Multimode Resource Constrained Project Scheduling Problems*). Dok se RCPSP instance sa do 120 aktivnosti rešavaju moćnim hibridom CP/SAT metodama, pronalaženje optimalnih rešenja za instance sa do 30 aktivnosti MRCPSPP se i dalje smatraju izuzetno izazovnim zadatkom. Programiranje ograničenja (CP – *Constrained Programming*) se može uspešno primeniti za rešavanje klasičnih problema, na osnovu efektivnog i efikasnog algoritma filtriranja i strategija za pretragu. Značajan napor je uložan u proširenje CP modela i tehnike rešenja raspoređivanja i problema vremenskog rasporeda. Operacioni istraživači (OR) su rešavali probleme raspoređivanja resursa i vremenskog rasporeda, uglavnom kao MRCPSPP, koji je uveden kasnih 70-ih. Po saznanjima ovih autora, hibrid CP/OR pristupi su primenjeni na problem raspoređivanja resursa i vremensko raspoređivanje počev od 2001. Lombardi i Milano (2012), motivisani uspehom hibridnih algoritama za raspoređivanje resursa i vremenski raspored, vršili su interdisciplinarna istraživanja na takvim problemima, uključujući programiranje ograničenja (CP), operaciona istraživanja (OR – *Operations Research*) i hibridne pristupe. Glavni problem predstavlja identifikacija odgovarajućeg

modela i tehnike rešavanja: oni mogu biti primenjeni u izgradnju novih hibridnih algoritama ili obezbediti ideje za nove metode filtriranja. Sa druge strane, Fatemi Ghomi i Ashjari (2002) u svojoj studiji razmatraju problem raspodele resursa na više projekata (MPRA – *multi-project resource allocation*) kao simulirani više kanalni sistem redova čekanja. Ovakvo rešenje je izabrano zbog postojanja resursa i zadataka sa stohastičkim trajanjem. Kompleksnost se povećava realizacijom više paralelnih projekata koji koriste zajedničke resurse. Osnovni cilj je određivanje vremenskog rasporeda projekata koji se realizuju u što kraćem mogućem roku sa što boljim iskorišćenjem raspoloživih zajedničkih resursa.

Van de Berg i sr. (Van den Bergh et al., 2013) kroz pregled literature identifikuju trendove u istraživanju kadrova i njihovog raspoređivanja i ukazuje na oblasti koje bi trebale da budu predmet budućih istraživanja.

Wu i An (2012) predlažu tri integrisana modela za raspodelu resursa: prvi model ima za cilj smanjenje ulazne potrošnje, druga ima za cilj povećanje ukupnih rezultata u okviru tekućih sredstava, a poslednji ima za cilj maksimizaciju ukupnih rezultata koristeći predviđena sredstva u narednoj proizvodnoj sezoni. Kako je broj ulaza ili izlaza obično veći od 1, navedeno pitanje je često problem višeciljnog linearnog programiranja (MOLP – *multiple objective linear programming*). Autori transformišu MOLP problem u model pojedinačnog ciljnog linearnog programiranja kroz proporciju ulaza (izlaza) nove jedinice o kojima se odlučuje i ukupnih ulaza (izlaza) svih starih jedinica o kojoj se odlučuje, pretpostavljajući da donosilac odluke mora da obezbedi da očekivani rezultati (izlazi) svake jedinice o kojima se odlučuje nakon raspoređivanja u sledeću proizvodnu sezonu nisu ništa manji od onih u ovoj proizvodnoj sezoni. Svi predloženi modeli imaju istu prednost a to je da su rezultati dobijeni iz modela Pareto efikasni.

Vinter i sr. (2006) koriste DEA model da uporede efikasnost projekta u više-projektnom okruženju i novi pristup za smanjenje broja ulaza i izlaza u cilju ispunjenja pravila DEA praktičara–broj ulaza i izlaza je smanjen na broj koji ne premašuje broj projekata. Sa druge strane, Jahantighi i sr. (2015) predlažu metod koji ima visoke performanse za selekciju projekta kada postoje ograničeni resursi, koristeći DEA model.

Perez i Gomez (2016) su prišli problemu selekcije portfolija projekata predlažući opšti nelinearni binarni višeciljni matematički model, koji uzima u obzir sve bitne faktore

navedene u literature u vezi sa izborom portfolija projekata i raspoređivanja i uključuje neke nejasne parametre (informacije koje nisu u potpunosti poznate donosiocima odluka). Uvođenje elemenata nejasnoće u problem raspoređivanja i odabir portfolija projekata je veoma korisno, jer omogućava uključivanje neizvesnosti u problem koje treba rešiti. Ovaj metod olakšava objašnjavanje rezultata donosiocima odluka.

Lokateli i sr. (Locatelli et al., 2016) u svom radu daju prvi pokušaj rešavanja problema korupcije, koja je jedan od ključnih problema javnih sektora. Dalja istraživanja će morati da identifikuju najprikladnije metode rešavanja ovog problema, analiziraju povezanost korupcije i projektnih performansi poredeći troškove sličnih mega projekata u zemljama sa različitim stepenom korupcije, istraže korelaciju između atributa upravljanja projektima (npr. obrasci ugovora, strategije raspodele rizika i slično) i korupcije, a zatim istraže uzročnost tih korelacija. DEA metoda je takođe korišćena i za ocenu efikasnosti u sprečavanju korupcije i njene veze sa efikasnošću poreskih sistemima evropskih zemalja (Savić et al., 2015). Dokazano je da efikanost poreskih sistema pozitivno utiče na smanjenje nivoa korupcije, što bi mogao biti pokazatelj u kom smeru treba sprovoditi promene u zemljama u razvoju i nerazvijenim zemljama.

Bertsimas i sr. (2014) u svojoj studiji predstavljaju binarni optimizacioni okvir za modelovanje širokog opsega dinamičkih problema raspoređivanja resursa. Predloženi okvir: a) dozvoljava fleksibilnost modelovanja uključivanjem različitih funkcija cilja, alternativne skupove resursa i pravičnu kontrolu; b) daje široku primenu u različitim problemima transporta, usluga i inženjeringa; i c) brzo obezbeđuje rešenja koja su blizu optimalnih za instance velikih dimenzija. Da bi dokazali ove tvrdnje, autori su primenili model na tri često proučavana problema – problemi upravljanjem tokovima vazdušnog saobraćaja, problemi održavanja aviona i problem raspoređivanja poslova (*Job Shop Scheduling*), i razvili iterativnu proceduru zasnovanu na optimizaciji kako bi poboljšali njegovu efikasnost i/ili optimalnost. Konačno, studija obezbeđuje rezultate koji daju uvid u efikasnost modela. Opšti cilj je da se rasporede sredstva tokom vremena u skladu sa zahtevima, kako bi se ciljevi realizovali što efikasnije moguće (sa minimumom kašnjenja), potencijalno koristeći alternativne resurse i obezbeđujući fer distribuciju kašnjenja između ovih zahteva (i implicitno njihovih vlasnika).

### **3.3. Pregled primena DEA za ocenu efikasnosti zaposlenih ili projekata, selekciju i alokaciju resursa**

U ovom poglavlju će biti prikazane neke od dosadašnjih primene DEA u oblastima vezanim za ocenu efikasnosti zaposlenih ili projekata, kao i za selekciju i alokaciju resursa.

#### **Ocena efikasnosti zaposlenih i projekta**

Manoharan i sr. (2009) opisuju u svom radu primenu DEA za poboljšanje metode merenja efikasnosti zaposlenih za male prerađivačke industrije. Ciljevi studije su sledeći: oceniti i rangirati zaposlene na osnovu njihovog učinka korišćenjem DEA; odrediti za svakog zaposlenog učinak ispod očekivanog; identifikovati slabe faktore svakog neefikasnog zaposlenog; podesiti ciljne vrednosti za sve izlazne faktore neefikasnih zaposlenih i formulisanje preporuka i sugestija na upravljanje koje bi trebalo da dovede do povećanja efikasnosti zaposlenih. Ovim istraživanjem se prikazuje procena učinka: procenjuju se rezultati na osnovu onoga šta su zaposleni postigli, ocenjuje se ponašanje zaposlenih na osnovu onoga šta ljudi rade (radno ponašanje odnosno sistemi na bazi ponašanja, ali i sposobnosti, motivacije i veštine, odnosno sistemi na bazi sposobnosti), a procenu vrši jedan ili više ocenjivača, obično polugodišnje i godišnje. Pojedinačni ocenjivač može biti šef, kolega, zaposleni (samoocenjivanje), podređeni i neko van organizacije. Više ocenjivača predstavlja tim koji se može sastojati od dva ili više menadžera/kolega/podređenih. Autori opisuju prethodna istraživanja kao npr. studiju u kojoj Kuk i Zu (Cook & Zhu, 2006) koriste kvalitativne i kvantitativne podatke zajedno kako bi ocenili različite mere performansi u različitim okruženjima. Pored toga, konveruju kvalitativne podatke u kvantitativne informacije, raspodelu vrednosti vrše preko pet tačaka Likert-ove skale i postavljaju svoje matematičke relacije, kako bi postigli konsenzus menadžera, supervizora i predstavnika zaposlenih i na taj način, pored smanjenja kvalitativnih faktura, sveli subjektivnost na minimum. Predloženi model koji daju Manoharan i sr. (2009) ima pet karakteristika: prevazilazi greške i mane kvalitativnih metoda; razmatra ulazne i izlazne faktore istovremeno; daje odgovore o očekivanjima

zaposlenih kvatifikacijom nivoa efikasnosti zaposlenog kao i o njihovim nedostacima i faktorima veće koncentrisanosti na poboljšanja; rangira zaposlene u organizaciji i nalazi kolege (sa kojima se prave poređenja) za svakog neefikasnog zaposlenog. Zaključak istraživanja je da DEA može da se koristi da identifikuje zaposlene koji su relativno neefikasni, izmeri veličinu neefikasnosti i pomogne da se izaberu alternativni putevi kako bi se eliminisala neefikasnost. Efikasniji zaposleni mogu da budu treneri manje efikasnim zaposlenima i mogu da imaju udeo u procesu poboljšanja učinka zaposlenih. DEA postupak ocenjivanja ima četiri potencijalne prednosti: određuje nivo učinka zaposlenih u odnosu na druge; uočavaju se manjkavosti izlaza i opterećenost ulaza za zaposlene; rangira zaposlene u smislu njihovog učinka i postavlja ciljeve za neefikasne zaposlene da postanu efikasni.

Zbranek (2013) u svojoj studiji primenjuje višedimenzioni pristup, predstavljen DEA metodom za merenje performansi i efikasnosti zaposlenih i na taj način prevazilazi nekoliko slabosti tradicionalnih sistema ocene učinka zaposlenih i obezbeđuje sveobuhvatni pokazatelj učinka pojedinih zaposlenih – njihov rezultat tehničke efikasnosti. Ulazne varijable korišćene u modelu su motivacioni faktori (plata, uslovi rada i benefiti), dok je izlaz predstavljen indirektno, ocenjujući učinak kroz radnu motivaciju, zadovoljstvo poslom i organizacione posvećenosti. Da bi potvrdio navedene hipoteze, autor primenjuje neparametarske metode za testiranje usklađenosti srednjih vrednosti. Glavni cilj DEA metode je da se identifikuju efikasne jedinice o kojima se odlučuje koje proizvode najveću količinu izlaza koristeći najmanju količinu ulaza (Lotfi & Shirouyehzad, 2010).

Tao (2012) bira razne ključne indikatore performansi zaposlenog (KPI – *key performance indicators*) na osnovu četiri kriterijuma selekcije (potpunost, različitost, značaj i dostupnost podataka), a zatim agregira izabrane KPI u četiri dimenzije karte rezultata radne snage (*Workforce Scorecard*: uspeh; ponašanje; kompetentnost; set uma i kultura). Relativne efikasnosti zaposlenih se računaju korišćenjem DEA metode a rezultati se mogu koristiti za procenu učinka zaposlenih. Međutim, zbog tradicionalne DEA metode zasnovane na ideji samovrednovanja i činjenice da će se generisati skup različitih težina za svakog zaposlenog, nije ispravno da se procenjuju i upoređuju direktno performanse zaposlenih. Iz tog razloga ova studija prikazuje korišćenje DEA unakrsne efikasnosti za ocenu efikasnosti zaposlenih, te se posmatraju druge jedinice o kojima se



odlučuje kada se procenjuje relativna efikasnost. U ovom radu su ključni indikatori performansi predefinisani unapred iako njihova selekcija može biti predmet istraživanja (Xie et al., 2017; Jahangirian et al., 2017; Fuentes et al., 2016; Collins et al., 2016).

Xie i sr. (2017) se bave konceptualnim okvirom ocene performansi učešća u javnim građevinskim projektima, gde se proces može prikazati iz tri koraka: 1. identifikacije potencijalnih ključnih indikatora performansi i razvoj instrumenata upitnika, 2. implementacije pregleda rezultata i identifikacija ključnih indikatora performansi i 3. razvoja indeksa performansi javnog učešća. Konačno, sprovedena je studija slučaja kako bi se ilustrovala implementacija razvijenog indeksa performansi javnog učešća u javnim građevinskim projektima.

Jahangirian i sr. (2017) predlažu okvir „odozgo prema dole“ (*top-down framework*) prema kojem se razvija 15 ključnih indikatora performansi, koji predstavljaju nivo uspešnosti simulacijskih projekata iz različitih perspektiva (kounikacija i interakcija, odgovornost, kompetencije, uključenost i organizacija korisnika), sa ciljem da se osigura struktuirani pristup proceni uticaja različitih faktora na uspeh projekta.

Fuentes i sr. (2016) u svom radu ispituju performanse obrazovnog procesa učenika u turističkim studijskim programima i pokušavaju da identifikuju ključne indikatore performansi koji mogu pomoći u optimizaciji kvaliteta nastavnog procesa. Predložena procedura, koja se sastoji iz tri faze, prvo koristi višestepenu DEA sa kontekstualnim varijablama, zatim se izračunavaju nivoi super efikasnosti kako bi se odredile prioritete jedinice efikasnosti i na kraju, u poslednjoj fazi se analizom osetljivosti utvrđuje doprinos svakog ključnog indikatora performansi u pogledu nivoa efikasnosti bez izostavljanja varijabli.

Colins i sr. (Collins et al., 2016) opisuju metodologiju za davanje preporuka za poboljšanje kriterijuma ključnih indikatora performansi proizvođača na osnovu ograničenih resursa koji su na raspolaganju za ta poboljšanja. Metodologija koristi pristup matematičkog programiranja kako bi se optimizovala korisnost, na osnovu postepenih promena u rezultatskim vrednostima ključnih indikatora performansi. Pristup koristi kombinatorni pristup poboljšanja, za razliku od pristupa kratkotrajnih poboljšanja.

Givoli i sr. (Givoly at al., 2017) se u svom radu bave istraživanjem ključnih indikatora performansi, analizirajući njihovu informativnost, faktore tražnje, pitanja

merjenja i svojstva njihovih prognoza. Sadržaj informacija koji se prenosi iz KPI-a je veoma značajan, ali se on smanjuje kada nedostaju detalji o izračunavanju KPI-a ili kada se način izračunavanja KPI-a menja tokom vremena.

Tolu i Tavana (Toloo & Tavana, 2017) predlažu novi metod za odabir jedne efikasne jedinice u analizi obavljanja podataka bez potrebe za rešavanjem bilo kog problema optimizacije (bez eksplicitnih ulaza/izlaza). Oni teoretski dokazuju i praktično ilustruju da je najefikasnija jedinica o kojoj se odlučuje ona jedinica sa maksimalnim (minimalnim) zbirom izlaza (ulaza). Komparativna analiza u ovoj studiji je pokazala značajno smanjenje složenosti računanja predložene metode u odnosu na prethodne metode predložene u literaturi.

Defersha i sr. (Defersha et al., 2012) predlažu novi model korišćenja DEA kao alata za procenu troškova na osnovu parameterskog ili ne-parametarskog pristupa koji se mogu koristiti da: obezbede procene troškova, predvide troškove preko parametarskih (statističkih) i ne-parametarskih metoda (veštačke neuronske mreže), ili rangiraju konkurentne brendove i modele proizvoda dostupne na tržištu i pomognu kupcima u odabiru ovih proizvoda.

Darehmiraki i Behdani (2013) koriste DEA kao novu metodu rangiranja, zasnovanu na primeni agregatne alternative (DMU) i činjenici da efikasna alternativa (DMU) sa boljim performansama ima jače efekte na grupu drugih alternativa (rezultat i predložene metode su poređeni sa onima koji su dobijeni korišćenjem TOPSIS metode).

Kuk i Grin (Cook & Green, 2000) razmatraju problem selekcije projekata, iz većeg skupa, koje treba realizovati (kreiranje portfolija projekata). Evaluacija i selekcija projekata su kombinovani u jednom modelu koristeći elemente modela analize obavljanja podataka unutar okvira mešovito celobrojnog linearnog programiranja.

Azadi i Šon (Azadi & Saen, 2012) su razvili novi stohastički DEA model sa verovatnosnim ograničenjima (*chance-constrained*) za selekciju dobavljača, koji inkorporiraju neželjene izlaze i stohastičke podatke, uzimajući u obzir višestruke i konfliktne kriterijume u odlučivanju o selekciji dobavljača. Ovakav model je moguće primeniti u različitim oblastima poslovanja.

Tavana i sr. (2015) predlažu trofazni hibridni metod koji integriše DEA, TOPSIS i celobrojno linearno programiranje u cilju rešavanja problema izbora portfolija projekata

(DEA za početne projekcije, TOPSIS za rangiranje projekata i celobrojno linearno programiranje za odabir najpogodnijeg portfolija projekata). Prva, pripremna faza se sastoji od tri koraka: 1. Identifikacije donosilaca odluka, 2. Definisanja ciljeva, prioriteta, inicijalnih ograničenja i granica, i 3. Identifikacije kriterijuma ocenjivanja. Druga faza je faza ocene projekta, koja obuhvata identifikaciju i praćenje projekata, merenje performansi svakog projekta po svakom atributu (ako su projekti homogeni) ili klasifikaciju projekata da bi se dosegla homogenost, određivanje težine za svaki atribut odluke, u slučaju nezadovoljstva bodovima i težinama ponovo se vrši merenje performansi svakog projekta po svakom atributu. Ako su bodovi i težine zadovoljavajući, ocenjuju se projekti na bazi rezultata TOPSIS metode i kreira se rang lista projekata. Treća faza, faza izbora finalnog portfolija, obuhvata uvođenje ograničenja i određivanje portfolija za posmatrani period, zatim kreiranje skupa portfolija koji zadovoljava definisana ograničenja, izračunavanje relativnih bodova i težina za svaki portfolio, procenu portfolija na osnovu rezultata TOPSIS metode da bi se sastavila lista rangiranih portfolija i donela privremena odluka. Ako je doneta privremena odluka, primenjuje se analiza osetljivosti i donosi finalna odluka o portfoliju projekata, nakon čega se finansira izabrani portfolijom projekata.

Uticaj implementacije ERP sistema na poslovanje preduzeća ocenjivan je primenom je modifikovanog DEA pristupa (Tsai Bi-Huei, 2011). Ispitivano je kako ova implementacija utiče na efikasnost ulaza-izlaza kada se usvoji dvostepeni pristup: primena modela analize obavijanja podataka u prvoj fazi a modela Tobit regresije u drugoj fazi. Studija je ograničena na praćenje performansi kompanija 6 godina nakon ERP implementacije. Rezultati su pokazali da implementacija ERP sistema povećava korporativne performanse i potvrđene su osnovne hipoteze istraživanja: H1 – postoje značajne razlike u efikasnosti ulaza i izlaza pre i posle uvođenja ERP sistema; H2a – smanjenje broja dana prometa potraživanja do koga se dolazi implementacijom ERP-a može da poveća efikasnost ulaza-izlaza; H2b – smanjenje broja dana prometa zaliha uzrokovanog implementacijom ERP-a može da poveća efikasnost ulaza-izlaza; H2c – produženje broja dana prometa obaveza prouzrokovano implementacijom ERP-a može da poveća efikasnost ulaza-izlaza i H3 – vodeći ERP dobavljači povećavaju efikasnost ulaza-izlaza u većem stepen nego drugi dobavljači. Ulazi su u studiji podeljeni u dva skupa, odnosno u prvom su broj zaposlenih, osnovna sredstva i sirovine uzeti kao rad,

kapital i sirovine, a u drugom se posmatraju vrednosti bruto domaćeg proizvoda kao egzogeni ulazi (GDP – *gross domestic product*). Ovaj rad ocenjuje dve vrste efikasnosti ulaza-izlaza pomoću prihoda neto prodaje i prihoda pre oporezivanja kao izlaznih varijabli, respektivno. Relativna važnost ključnih faktora uspeha i implementacije ERP sistema je isptivana primenom (AHP – *Analytic Hierarchy Process*) metode i pokazala je da važnost varira u zavisnosti od tipa implementacije (Nagpal, Kumar & Khatri, 2018).

Tavana i sr. (2013) predlažu DEA model koji rešava dvosmislenost i neodređenost: funkcija cilja koja je modelovana pomoću višeciljnog, fazi linearnog programiranja, dok je dvosmislenost ulaza i izlaza modelovana fazi skupovima i novom metodom sečenja. Predloženi modeli su linearni, nezavisni od smanjenih varijabli i sposobni za maksimizaciju nivoa zadovoljenja fazi ciljeva i rezultata efikasnosti, istovremeno. Studija slučaja koja uključuje selekciju visoko-tehnoloških projekata u NASA pokazuje primenljivost predloženih modela i efikasnost procedura i algoritama.

Značajan broj studija se odnosi na primenu DEA i u oblasti konsaltinga. Na primer, Šlamp i Feker (Schlamp & Fecker, 2002) pokazuju da DEA može biti korisno sredstvo za menadžment konsalting - DEA se koristi za identifikaciju potencijalnih efekata sinergije kroz spajanje i nabavku preko elastičnosti efikasnosti. Takođe, zahteva pažljivu analizu za kompaniju koja je u restrukturiranju i značajno menja resurse i performanse.

Vang i Li (Wang & Li 2011) su uveli algoritam za izbor kandidata okružnog saveza za univerzitetske inkubatore koji se zasniva na DEA modelu i heurističkim tehnikama. Cilj ovog istraživanja jeste da obezbedi sistematičan pristup za državne ili administratorske inkubatore u Tajvanu, kako bi birali svoje partnere u cilju poboljšanja ukupne efikasnosti, integracije resursa i poboljšanja performansi. Predloženi pristup integriše više resursa svih univerzitetskih inkubatora, poboljšava konkurentnu prednost i daje praktične predloge za državne vlasti kada savez okruga treba se procenjuje i inicira.

Hadad i sr. (2013) predlažu model sistema podrške odlučivanju za izbor vođe projekta primenom DEA metode i demonstriraju njegovu implementaciju, koja je ograničena na dokazane performanse kandidata. Kriterijumi ocenjivanja se mogu svrstati u 4 grupe: kriterijumi u vezi planiranog budžeta i stvarnih troškova projekta (kao što su troškovi hardvera i softvera, indeks performansi troška, zarađena vrednost i novčani

tokovi), kriterijumi koji se odnose na sredstva projekta i njihovu potrošnju (kao što su radni sati i drugi ljudski resursi), kriterijumi koji se odnose na vremenski period projekta (kao što su vreme završetka, vreme obuke i indeks performansi rasporeda), i kriterijumi u vezi rizika projekta (kao što su rezultati rizika, složenost i potencijalni rizik). Izabrani ulaz 1 je definisan kao koeficijent stabilizacije troškova projekta, ulaz 2 kao stabilizacija koeficijenta vremena završetka projekta, dok je ulaz 3 definisan kao recipročni intenzitet projekta. Izlaz 1 je definisan kao odnos između očekivanih i stvarnih troškova (ne računajući troškove implementacije projekta), izlaz 2 kao odnos između očekivanog i stvarnog vremena završetka (isključujući trajanje implementacije projekta), izlaz 3 je odnos stvarnih troškova (isključujući troškove implementacije) i troškova implementacije projekta, dok je izlaz 4 definisan kao odnos između stvarnog vremena završetka (bez trajanja implementacije) i trajanja implementacije projekta. Glavni izazov za vođu projekta jeste da brine o uravnoteženom raspoređivanju na projektne zadatke, aktivnosti i ciljeve. Isti autori (Keren i sr., 2014) kombinuju metodologije DEA, analitički hijerarhijski proces (AHP – *Analytic Hierarchy Process*) i metode rangiranja (RM – *Ranking Methods*), predlažu izračunavanje težina i potpuno rangiranje kandidata za upravljanjem projektom, i konačno, selekciju najboljeg od tih kandidata. Izabrane su iste ulazne i izlazne varijable kao i procedura izbora kandidata primenjene u istraživanju objavljenom u 2013. godini, ali umesto sistema podrške odlučivanju, selekcija kandidata za upravljanje projektom se vrši na osnovu rezultata AHP/DEA metode, u kombinaciji sa metodom rangiranja. Predložena metoda omogućava izračunavanje ponderisane težine i rangira svakog kandidata u skladu sa kvalitativnim i kvantitativnim kriterijumima, tako da je od izuzetnog značaja upravo adekvatan izbor odgovarajućih kriterijuma za rangiranje, obzirom da izabrani kriterijumi utiču na konačni rang. Studija je ograničena na iskusne vođe projekta i to samo u slučajevima gde su dostupni kompletni podaci sa prethodnih projekata. Drugo ograničenje je da je potrebna subjektivna ocena od strane donosilaca odluka. Donosioci odluka nisu uvek konzistentni i njihova ocena može da prouzrokuje sukobe u slučaju da postoji više donosilaca odluka koji imaju različito mišljenje.

Cao i Hoffman (2011) su dizajnirali novi sistem za ocenu performansi projekta u Honeywell Federa Manufacturing & Technologies (FM&T), koji će omogućiti menadžerima da mogu da izvrše reviziju projekta i odrede gde je moguće napraviti

poboljšanja. Konkretno, za dizajn novog sistema za procenu performansi projekta korišćen je pristup u dva koraka: u prvom koraku se koristio pristup studije slučaja kako bi se definisali pokazatelji performansi projekta, dok je u drugom koraku primenjena analiza obavijanja podataka (DEA) za određivanje pokazatelja produktivnosti projekta (ulazne i izlazne promenljive su identifikovane u fazi studije slučaja istraživačkog projekta), sposobnosti da se izmere performanse i odredi efikasnost posmatranih projekata. DEA je korišćena i da bi se izvršila analiza osetljivosti identifikovanja faktora efikasnosti u cilju poboljšanja.

Stingl i Gerald (2017) prezentuju sistematski pregled literature o ponašanju odlučivanja u projektima i njihova studija predstavlja dobru polaznu osnovu za bilo kog istraživača zainteresovanog za ovu temu. Fu i Ou (2013) predlažu novi način vrednovanja učinka projekta, kombinujući PCA (*principal component analysis*) i DEA (*data envelopment analysis*) analizu, u cilju poboljšanja efikasnosti jedinica o kojoj se odlučuje.

Gorog (Görög, 2016) uvodi širi pristup procene zrelosti upravljanja projektom i posmatra proces upravljanja projektom kao važan faktor: Kvalitet upravljanja svakim projektom zavisi od stručnosti projektnog tima (uključujući i vođe projekta), kao i od ličnih karakteristika i leaderskog stila vođe projekta. Zu i Mostafavi (Zhu & Mostafavi, 2017) predlažu okvir u kojem vođa projekta i donosioci odluka mogu da razviju više protokola i alata za poboljšanje planiranja projekta i upravljanja u kompleksnom okruženju.

Optimalna raspodela resursa na projektne aktivnosti je jedan od glavnih problema koji se postavlja u njihovoj realizaciji. Poseban akcenat je stavljen na raspored ljudskih resursa, uz poštovanje ograničenja radnog vremena, kvalifikacija (Greiner & Ennsfellner, 2010) i iskustvo u obavljanju neophodnih poslova. Jedan od tih zadataka je optimalna raspodela raspoloživih konsultanata i formiranje projektnog tima. Liu i Kros (Liu & Cross, 2016) predstavljaju sveobuhvatan model tehničkih performansi projektnog tima. Sudhaman i Thangavel (2015) su za menadžere projekta i konsultante identifikovali efikasne ERP projekte, na osnovu mera kvaliteta projekata (*defect counts*) koristeći model analize obavijanja podataka sa pretpostavkom konstantnog prinosa na obim (DEA CRS model) i omogućili da se usvoje softverske procene i model ocene kvaliteta ovih projekata za buduće ERP projekte.

DEA model sa više ulaza (troškovi i vreme kašnjenja) i jedan izlazom (kvalitet usluga) je takođe korišćen za određivanje efikasnosti projekta (Shirouyehzad & Dabestani, 2011). Efikasni projekti obezbeđuju najviši kvalitet usluga sa najnižim troškovima i vremenskim odstupanjima, ali rezultati istraživanja ukazuju da efikasni projekti nemaju nužno i najveći kvalitet usluga.

Chiang i Che (2010) primenjuju u svojoj studiji fazi AHP i fazi DEA model, kako bi razvili metodologiju za ocenjivanje i rangiranje sa visokom dodatom vrednošću, uključujući Bajesovu mrežu poverenja (BBN – *Bayesian belief network*) za kreiranje modela procene rizika da bi se pomoglo top menadžerima u analizi i merenju rizika razvoja novog proizvoda (NDP – *new product development*). U kasnijim radovima AHP metoda je korišćena za postavljanje ciljeva, tako što se formira hijerarhijski model u kom jedna grana predstavlja poboljšanja, a druga pogoršanja za svaki cilj kao atribut na drugom nivou hijerarhije (Lozano i Villa, 2009). Metoda ANP (*Analytical Network Process*) je takođe povezana sa fazi DEA modelima u cilju smanjivanja subjektivnosti donosilaca odluke (Lin, 2010).

Khalili-Damghani i sr. (2013) posmatraju višestruke i konfliktne ciljeve kao ulazne varijable zasnovane na pravilima fazi sistema (FRB – *Fuzzy Rule-Based*) razvijenom da ocenjuje ukupnu podobnost potencijalnih portfolija projekata. Hibridni višeciljni okvir integriše i sintetiše rezultate iz modela rudarenja podataka sa rezultatima DEA modela i evolutivnih algoritama (EA – *Evolutionary Algorithm*) u cilju dizajniranja strukture predloženog FRB sistema. Predloženi okvir istovremeno posmatra maksimizaciju tačnosti i minimizaciju kompleksnosti ciljeva, i u kombinaciji sa metodom mašinskog učenja zasnovanog na genetskim algoritmima (GBML – *Genetic Based Machine Learning*) koji se koristi za dizajn alternativnog sistema zasnovanog na pravilima (FRB) u cilju poređenja. Predloženi okvir doprinosi proceni alternativnih portfolija projekata u institucijama koje obavljaju finansijske usluge.

Gapanči i sr. (Ghapanchi et al., 2012) imaju kao cilj da prevaziđu nedostatke prethodnih istraživanja koja nisu uzimala u obzir uticaj neizvesnosti na realizaciju projekta i njihovu interakciju odnosno međuzavisnost. Projekti proučavani u ovoj studiji vezani su za informacione sisteme i tehnologije (IS/IT), jer su ti projekti često predmet neizvesnosti usled teškoća u proceni i ograničeni interakcijama zbog tehnoloških međuzavisnosti. Da

bi selektovali najbolji portfolio IS/IT projekata uzimajući istovremeno u obzir neizvesnost projekta (modelovan kao fazi promenljive) i interakcije projekta, autori su koristili analizu obavljanja podataka. Metodologija predložena u ovom radu sastoji se od četiri koraka: modeliranje problema (uspostavljanje kriterijuma procene i fazi procena ulaza, izlaza i povezanih rizika za svaki projekat), izbor projekata kandidata (pojedinačna procena projekta korišćenjem fazi DEA i na osnovu nje, otkrivanje neefikasnih i rizičnih projekata), generisanje portfolija i određivanje maksimalnih portfolija (izračunavanjem akumuliranih funkcija da bi se definisali ulazi i izlazi portfolijakandidata) i konačno, procena maksimalnih portfolija (koristeći fazi DEA metodu). Postoje određena ograničenja predloženog metoda, kao što su: ukupan broj mogućih portfolija koji se procenjuje jeste  $2n$  ( $n$  je broj projekata kandidata); uključivanje 3 ili više projekata u portfolio može zahtevati resurs ulaza za portfolio koji je značajno manji od sume ulaza zahtevanih za svaki projekat pojedinačno ili za projekte posmatrane u paru; posmatrala se međuzavisnost između projekata u ulazu, izlazu i verovatnoćama za uspeh, te će dalja istraživanja uzeti u obzir više interakcija.

Xu i Yeh (2014) prikazuju novi pristup zasnovan na učinku koji se ostvaruje integracijom modela dodele projekata menadžeru i oceni performansi projekta (dva važna i odvojena pitanja istraživanja u upravljanju projektima) pomoću očekivane vrednosti doprinosa projekata i očekivanih rezultata performansi određenih od strane vođe projekta. Oni su razvili objektno-orijentisani proces dodele zasnovan na učinku kako bi se projekat dodelio menadžeru projekta, model dodele projekta kako bi se maksimizirale ukupne vrednosti ponderisanog doprinosa svim novim projektima u organizacionim ciljevima i proces zasnovan na evaluaciji efikasnosti korišćenjem analize obavljanja podataka za merenje relativne efikasnosti performansi završenih projekata i ocene efikasnosti vođe projekta.

### **Raspoređivanje i alokacija resursa**

Mnogi pristupi zasnovani na DEA metodi se dugo već razvijaju kako bi se rešavali problemi raspodele troškova i raspoređivanja resursa. Na primer, Athanassopoulos (Athanassopoulos, 1995, 1998) koristi tehniku ciljnog programiranja (*goal programming*) da bi razvio DEA model za raspoređivanje resursa. Sa druge strane, Kuk



i Kres (Cook & Kress, 1999) su prvi pokušali da kreiraju model raspodele fiksnih troškova zasnovan na dva teoretska principa invarijantnosti i Pareto minimuma. Raspodela troškova se u potpunosti vrši na strani ulaza, ukazujući da će jedinice o kojima se odlučuje sa identičnim ulazima preuzeti jednak udeo fiksnih troškova, bez obzira na vrednosti izlaza. Model koji su autori razvili predstavlja proširenu verziju DEA modela tako da se fiksni troškovi dodeljuju jedinicama proporcionalno upotrebi varijabilnih resursa. Za planski period, poznati su ukupni fiksni troškovi  $R$ , pri čemu je  $r_j$  trošak dodeljen DMUj ( $j \in N$ ) proporcionalan njenom virtuelnom, odnosno agregiranom ulazu.

$$\min \sum_{i \in I} v_i x_{ik} + v_{|I|+1} r_j \quad (3.1)$$

p.o.

$$\sum_{r \in O} u_r y_{rk} = 1 \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I} v_i x_{ij} - \sum_{r \in O} u_r y_{rj} + v_{|I|+1} r_j \geq 0, \quad j \in N \quad (3.3)$$

$$u_r \geq 0, r \in O, v_i \geq 0, i \in I,$$

Očigledno je osnovni CCR DEA model proširen uvođenjem promenljivih  $r_j$  ( $j \in N$ ) i odgovarajućeg težinskog koeficijenta  $v_{m+1}$ . U prikazanom modelu (3.1-3.3) potrebno je pronaći minimum funkcije cilja koja predstavlja zbir virtuelnog ulaza  $\sum_{i \in I} v_i x_{ik}$  i virtuelnog fiksnog resursa  $v_{|I|+1} r_k$  posmatrane DMUk. Za model (3.1-3.3) se može formirati sledeći dualni model:

$$(\max) \phi_k \quad (3.4)$$

p.o.

$$\sum_{j \in N} \lambda_j x_{ij} \leq x_{ik}, i \in I \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in N} \lambda_j r_j \leq r_k \quad (3.6)$$

$$\phi_k y_{rk} - \sum_{j \in N} \lambda_j x_{ij} \leq 0, r \in O \quad (3.7)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j \in N \quad (3.8)$$

Na osnovu analize primalnog i dualnog modela autori su postavili uslove (3.9) i (3.10) koje optimalno rešenje mora da zadovolji da bi se postigla ravnomerna alokacija, a da pri tome svaka DMU zadržava nivo efikasnosti postignut pre raspoređivanja resursa.

$$\sum_{j=1}^n r_j = R \quad (3.9)$$

$$r_k = \sum_{j \in J_c} \lambda_j^k r_j, \quad \forall j \in J_c, J_c \text{ je podskup neefikasnih DMU} \quad (3.10)$$

Ovaj pristup je proširen (Cook & Zhu, 2005) i pokazano je da se pristup može primeniti bez obzira na orijentaciju modela i pretpostavljeni prinos na obim. U prvoj fazi se rešava odgovarajući dualni DEA model u cilju pronalaženja optimalnih vrednosti  $\lambda_j \geq 0, j \in N$ . U drugoj fazi se rešava model u kom se minimizira arbitrarno postavljena funkcija cilja, ograničenja predstavljaju jednačine (3.9) i (3.10) u koje su uvršćene optimalne dualne težine  $\lambda_j \geq 0, j \in N$ . Na taj način se postiže ravnomerna alokacija resursa na sve jedinice, bez obzira da li su ocenjene kao efikasne ili kao neefikasne.

Neki autori, na primer Lozano i Vila (Lozano & Villa, 2004) predstavljaju dva nova DEA modela za centralizovano raspoređivanje resursa; dok Li i drugi (2009) posmatraju fiksne troškove kao dopunu drugim ulazima i kombinuju ih sa drugim merama troškova kako bi se formirala pojedinačna mera ulaza prilikom ocene performansi (veruju da je metoda tretiranja troškova kao dodatnog ulaza svake jedinice o kojima se odlučuje pod znakom pitanja). Lin (2011) pokazuje da pristup koji su imali Kuk i Zhu (Cook & Zhu, 2005) verovatno nema dopustivo rešenje kada su postavljena dopunska ograničenja,

te dalje razvija model za dobijanje dopustivih cena ili raspoređivanja resursa kada su oni predmet tako posebnih ograničenja (proširuju Kukov i Kresov pristup od CCR na BCC, od ulazne na izlazne orijentacije, tako da daju dopustivno ali ne i optimalno raspoređivanje troškova) za većinu realnih problema.

Nelinearni program zasnovan na DEA u cilju raspoređivanja fiksnih troškova razvija Bizli (Beasley, 2003) i pokazuje da nakon raspoređivanja, sve jedinice o kojima se odlučuje postaju efikasnije (raspoređivanje troškova je zasnovano na DEA pristupu istovremene maksimizacije prosečne efikasnosti svih DMU, uvođenjem dodatnih ograničenja u cilju pronalaženja jedinstvenog rasporeda troškova); Yu i drugi (2013) koriste DEA agregiran koncept kako bi postavili modifikovani centralizovani pristup preraspoređivanja ljudskih resursa; Lotfi i drugi (2013) su razvili model koji obezbeđuje jednake vrednosti ulaza i izlaza u referentnom skupu i tvrde da ovaj pristup donosi konzistentno i pravedno interno raspoređivanje, uz implicitnu pretpostavku da postoji centralizovano donošenje odluka u ocenjivanoj organizaciji. Sve pomenute studije tretiraju fiksni trošak kao dodatni ulaz, nezavisno od ostalih ulaza i zasnivaju se na konvencionalnim principima DEA modela gde efikasnost svake jedinice o kojima se odlučuje (DMU) proizlazi iz sopstvene samoprocene odnosno ocenjuje se u skladu sa skupom ulaznih i izlaznih varijabli izabranih za DMU. Du i sr.drugi (2014) se osvrću u svojoj studiji na prethodne studije i iskazuju stav da raspoređivanje zajedničkih resursa ili zajedničkog troška mora biti zasnovana na saradnji ili zajedničkom pogledu na značaj (težine) koje su dodeljene ulazima i izlazima. Unakrsna efikasnost (*cross efficiency*) je fer i razuman mehanizam za dostizanje ovog zajedničkog pogleda na to šta bi ulazne i izlazne varijable trebalo da budu. Njihov rad se razlikuje od postojeće relevantne literature i daju svoj doprinos tako što: podrazumevaju samo linearne modele (globalno optimalno rešenje se može lako naći); bave se opštim slučajem višestrukih ulaza i izlaza i model se može razvijati sa pretpostavkom konstantnih prinosa (CRS) i promenljivih prinosa na obim (VRS); sve uključene DMU pregovaraju jedna sa drugom kako bi uskladile plan raspodele i prilagodile na način koji će biti prihvatljiv za sve jedinice o kojima se odlučuje; njihov interaktivni DEA pristup je dopustiv, posebno za raspoređivanje fiksnih troškova, što obezbeđuje da sve DMU budu efikasnije sa raspoređenim fiksnim troškovima kao dodatnom ulaznom merom; nivoi ulaza i izlaza istovremeno odlučuju za raspoređivanje resursa; nisu zahtevane predodređene

težine/koefficienti; pristup raspodele resursa omogućava na ulazu kontrakcije i ekspanzije, ali ne i izlazno smanjenje. Sa druge strane, Hatami-Marbini i sr. (2015) predlažu DEA model zajedničkih težina zasnovan na konceptu ciljnog programiranja za centralizovano smanjenje resursa i ciljne postavke tako što određuju iznos smanjenja ulaza i izlaza za svaku jedinicu odlučivanja koji dovodi do povećanja ili bar ne dovodi do smanjenja rezultata efikasnosti svih DMU.

Wu i sr. (2013) predlažu neke nove DEA modele koji posmatraju kako ekonomske, tako i ekološke faktore u raspoređivanju datog resursa. Studija razmatra tri scenarija raspoloživih resursa: 1. Ako je novi resurs u narednom periodu veći nego resurs u sadašnjem periodu, ciljni rezultati se neće smanjiti za bilo koji od željenih izlaza; 2. Ako je novi resurs u narednom periodu manji od resursa u sadašnjem periodu, ciljni rezultati se neće povećati za bilo koji od neželjenih izlaza; i 3. Ako je novi resurs u narednom periodu jednak resursu u tekućem periodu, ciljni rezultati se neće smanjiti za bilo koji od željenih izlaza a u isto vreme, ciljni rezultati se neće povećati za bilo koji od neželjenih izlaza, odnosno zadovoljavaće istovremeno prva dva scenarija. Dve funkcije cilja su formulisane za navedena tri scenarija i to: maksimizacija ukupnih poželjnih rezultata i minimizacija ukupnih nepoželjnih rezultata. Za svaki scenario primenjene su obe alternative predložene za raspoređivanje resursa: jedna je da se prvo maksimiziraju željeni rezultati a zatim minimiziraju neželjeni, a druga je da se prvo minimiziraju neželjeni rezultati a zatim maksimiziraju željeni. Pristup zadržava prednosti tradicionalne DEA, jedinična invarijantnost, objektivno utvrđivanje težina ulaza i izlaza i mogućnost korišćenja višestrukih ulaza i višestrukih izlaza.

Hadi-Vanceh i sr. (Hadi-Vencheh et al., 2014) predlažu novu metodu za pronalaženje koliko bi neki od ulaza/izlaza svake DMU trebalo smanjiti tako da ukupna efikasnost svih DMU nakon redukcije bude maksimalna. U modifikovanom modelu nije od značaja da li će efikasnost neke DMU posle redukcije biti manja od njihove efikasnosti pre smanjenja ulaza/izlaza, već je cilj da se maksimizira ukupna efikasnosti svih DMU posle redukcije. U centralizovanom modelu odlučivanja, povećanje ili smanjenje potrošnje ulaza ili proizvodnje izlaza podrazumeva učešće svih DMU, odnosno sve moraju da daju doprinos u delu ukupne potrošnje ili proizvodnje. Studija se fokusira na modelu odlučivanja u kome centralni donosilac odluke kontroliše ulaze i izlaze skupa jedinica, gde postoji mogućnost postavljanja određenih ograničenja na raspoloživost

resursa, te donosilac odluke može želeći kao rezultat da smanji nivo nekih ulaza i izlaza. Autori razvijaju alternativni model višeciljnog linearnog programiranja (MOLP – *multiple objective linear programming*) za smanjenje ulaza/izlaza u DEA, kao proširenje modela datog u jednoj od prethodnih studija (Amirteimoori & Emrouznejad, 2012) i pojednostavljenje obračuna.

Amirtimori i Tabar (Amirteimoori & Tabar, 2010) predstavljaju pristup DEA zasnovan na raspodeli fiksnih resursa preko skupa jedinica o kojoj se odlučuje i pokazuju kako se može doneti odluka o ciljnim izlazima u isto vreme kad i odluka o raspodeli resursa. Autori veruju da raspoređivanje fiksnih resursa i postavljanje ciljeva treba da bude izvršeno na takav način da svaka jedinica o kojoj se odlučuje ima efikasan rezultat. Keke i sr. (2015) sugerišu kako mehanizam alokacije resursa u proizvodnim preduzećima zasnovan na programiranju na više nivoa može povećati efikasnost alokacije resursa (na osnovu DEA modela i proizvodne funkcije). Zaključak je da su skladan suživot funkcionalnih odeljenja i deljenje resursa neophodni uslovi maksimalnog uvećanja profita i efikasnosti, da nivo nauke i tehnologije igra važnu ulogu u razvoju preduzeća, kao i da izlazne vrednosti mogu biti unapređene povećanjem investicija u istraživanja i razvoj.

Fang (2013) uvodi novi uopšteni centralizovani model raspoređivanja i proširuje modele Lozano i Vila (Lozano & Villa, 2004), kao i Asmild i sr. (2009), koji su pretpostavljali da centralizovani donosilac odluke može prerasporediti ulaze i izlaze preko svih jedinica o kojoj se odlučuje, u opštem slučaju. Problemom centralizovanog raspoređivanja ljudskih resursa bavili su se i Lopez-Tores i Prior (López-Torres & Prior, 2016) u cilju prilagođavanja resursa dodeljenom budžetu bez gubitka izlaza i u tom smislu prezentovali alternativni model koji se zasniva na takozvanoj centralizovanoj analizi obavljanja podataka (*centralized data envelopment analysis*). Centralizovano donošenje odluka ima za cilj da smanji ukupnu potrošnju ulaza (ili da poveća ukupnu proizvodnju izlaza) od strane svih jedinica o kojoj se odlučuje pre nego da razmatra potrošnju svake DMU pojedinačno (Korhonen i Syrjänen, 2004; Fang i Zhang, 2008; Du et al., 2010). Interaktivni formalni pristup zasnovan na DEA i višeciljnom linearnom programiranju (MOLP) je takođe primenjivan na problemu raspoređivanja resursa koji se obično pojavljuje u organizacijama sa centralizovanim odlučivanjem (Korhonen & Syrjänen, 2004). Međutim, postoje situacije u kojima su neke DMU geografski rasprostranjene ili

za koje može biti nemoguće prerasporediti ulaze ili preneti izlaze kroz DMU zbog usklađivanja troškova, propisa ili nedeljivosti. Shodno tome, ulazi mogu biti preraspoređeni ili izlazi preneti, ali ne kroz sve jedinice odlučivanja, već samo kroz neke. Dokazano je da ciljevi definisani za svaku DMU od centralizovanog modela raspoređivanja resursa ne zahtevaju nužno smanjenje ulaza (u ulazno orijentisanom modelu), već mogu uključivati i uvećanje ulaza i/ili usklađivanje izlaza (Asmild et al., 2009). U cilju otkrivanja izvora takvog ukupnog skraćivanja ulaza u uopšten centralizovani model raspoređivanja resursa, Fang je dalje razložio strukturnu efikasnost (Li & Cheng, 2007) u tri komponente: agregat tehničke efikasnosti, agregat alokativne efikasnosti i ponovo prenosive komponente efikasnosti. Predloženi modeli ne samo da su dovoljno fleksibilni za centralizovano donošenje odluka i određivanje optimalne vrednosti ulaza i izlaza, već i da identifikuju izvore mogućeg smanjenja ulaza, doprinoseći na taj način podizanju značaja tumačenja i razumevanju uopštenog centralizovanog modela raspoređivanja resursa. Fang i Li (2013) uviđaju da vektor cena u senci dobijen rešavanjem modela predloženih u prethodnoj studiji (Li & Cheng, 2007) nije uvek jedinstven. Kao rezultat toga, dekompozicija strukturne efikasnosti značajno varira, u zavisnosti od vektora cena u senci koji se izabere. Ovaj fenomen rezultira u zbunjujućoj interpretaciji ekonomskog značenja njene tri komponente efikasnosti. Mar-Molinero i sr. (2014) u svojoj studiji pronalaze najbolji način da se preraspodele resursi među ograncima novom interpretacijom prethodno definisanih modela (Lozano & Villa, 2004) i dokazuju korisnost informacije kada se planiraju novi ogranci u slučaju centralizovane organizacije sa puno ogranaka (npr Ministarstvo obrazovanja koje je odgovorno za mnoge škole koje propisuje zajednički set prioriteta za sve DMU). Rad daje i pregled literature o efikasnosti grupe i preraspodele od jako centralizovanog do slabo centralizovanog upravljanja.

DEA se koristi u cilju procene efikasnosti na osnovu empirijske granice efikasnosti, ali se može koristiti i za raspoređivanje resursa i postavljanje ciljeva za buduća predviđanja. U standardnim DEA modelima se koriste kontinualni podaci ali postoje mnogi problemi u realnom životu gde se podaci moraju tretirati celobrojno, kao što su broj radnika, mašina, eksperata i slično. Prvi put je predlažen i pristup za raspodelu resursa i postavljanje fiksnih ciljeva (Gholami & Beigi, 2013) pod pretpostavkom celobrojnosti uvođenjem modela celobrojne analize obavljanja podataka (IDEA – integer

data envelopment analysis). Glavni cilj ovog pristupa je da očuvaju ocene efikasnosti DMU. Organizacije su spremne da postave ciljeve za pojedinačne DMU imajući u vidu njihove buduće performanse (npr. izlazne ciljeve za naredni period). Jasno je da ovakvo postavljanje ciljeva treba da bude povezano sa raspoređivanjem resursa. Raspoređivanje resursa/troškova i postavljanje ciljeva je odnedavno jedna od najinteresantnijih realnih tema u primeni DEA. Razlika između pojmova „raspoređivanje resursa“ i „postavljanje ciljeva“ u DEA terminologiji (Beasley, 2003), se ogleda u tome što raspoređivanje resursa može da postoji kada organizacija ima ograničene ulazne resurse ili ograničene izlazne mogućnosti (u takvim okolnostima organizacija mora da rasporedi ravnopravno fiksne nivoe ulaza/izlaza među DMU), dok postavljanje ciljeva ulaza i izlaza može biti definisano kao određena vrednost ulaza/izlaza za svaku DMU bez navođenja organizacionih ograničenja. DEA modeli celobrojnog programiranja su uvedeni za rešavanje problema sa celobrojnim ograničenjima (Lozano & Villa, 2007). Lozano i Vila (Lozano & Villa, 2006) se prvi bave ovim problemom uvođenjem kombinacije celobrojnog linearnog problema zasnovanog na DEA modelu. Kuosmanen i Kazemi Matin (2009) daju prikaz nedostataka ovog celobrojnog DEA modela i predlažu temelj rešenja novim aksiomom za problem celobrojnog DEA modela. Oni prikazuju na neki način poboljšanje merenja klasične Farrell-ove efikasnosti ulaza i uvode mešoviti problem celobrojno linearnog programiranja (MILP - *mixed integer linear programming*) za procenu efikasnosti rezultata. Kazemi Matin i Kuosmanen (2009) su proširili aksiomatsku osnovu modela analize obavijanja podataka prethodno pomenute studije, tako što je predloženi model kreiran uvođenjem dva nova aksioma (prirodna konveksnost i prirodno povećanje izlaza). Ovaj prošireni model predstavlja prvi deo studije koja ocenjuje efikasnost koristeći IDEA modele predstavljene u radu autora Kazemi Matin i Kuosmanen (2009), a zatim, raspoređuju fiksne resurse i postavljaju fiksne ciljeve uvođenjem skupa izabranih celobrojnih pretpostavki (Gholami & Beigi, 2013). Posle rešavanja predloženog modela, ocene efikasnosti svih DMU ostaju nepromenjene. Wu i Zhou (2015) predlažu celobrojni DEA model koji se bavi prekoračenjima ulaza i nedostajućim izlazima istovremeno. Foroughi (2011) predstavlja kombinovani linearno celobrojni model koji daje dopustiva rešenja i koristi se za određivanje efikasnosti pojedinačnih DMU. Pored toga, njegov model se koristi i za rangiranje svih ekstremno efikasnih jedinica o kojima se odlučuje. Bernini i sr. (2013) u svojoj studiji predlažu DEA

model sa zajedničkim težinama zasnovan na pristupu *benefit of doubt* koji omogućava razlikovanje efikasnih jedinica i procenjuje relativne važnosti svakog domena indikatora subjektivne dobrobiti (SWB – *subjective well being*).

Hasan i sr. (Hassan et al., 2010) istražuju problem višeciljnog raspoređivanja resursa (MORAP – *multi objective resource allocation problem*) kada su DMU kontrolisane na centralnom nivou. Oni su modifikovali CCR DEA model, i prema rezultatima problema linearnog programiranja, ocenjene su srednje neefikasne i sve efikasne jedinice sa jednim zajedničkim skupom pondera odnosno težina.



#### **4. Modeli za optimalno raspoređivanje konsultanata zasnovani na DEA oceni efikasnosti**

U ovom delu disertacije biće predloženi modeli, zasnovani na DEA oceni efikasnosti, za rešavanje problema simultane ocene efikasnosti i raspoređivanja konsultanata na pozicije projekta. Kao što je već ranije rečeno, faza izbora konsultanata i kreiranja projektnih timova je ključna za uspeh projekta. U praksi, donosilac odluke odnosno menadžer ima listu konsultanata koje treba da rasporedi na osnovu njihovih indikatora performansi odnosno veština, cene i raspoloživog vremena sa jedne strane i potreba projekta sa druge strane.

Sa obzirom da se posmatra skup indikatora performansi za svakog konsultanta potrebno je pronaći način da se oni integrišu pri oceni performansi konsultanta. Na primer, model dat u literaturi (Vayvay, Ozcan & Cruz-Cunha, 2012) je adaptiran i primenjen u specijalnom slučaju selekcije odgovarajućeg konsultanta za jedan od više konkurentskih projekata implementacije ERP sistema (Martinović & Delibasić, 2013), primenom interpolativne bulove algebre (Radojević, 2006) za generisanje novog kriterijuma kao kriterijuma koji kombinuje sve postojeće.

U ovoj disertaciji izabrano je da kriterijum raspodele bude relativna efikasnost konsultanta pri realizaciji određene aktivnosti tj. pozicije na projektu i kreirani su modeli za sledeće slučajeve predstavljene u uvodnom delu ove disertacije:

1. Izbor konsultanata za jednu aktivnost na jednom projektu
2. Raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti na jednom projektu
3. Raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti na više projekata

## 4.1. Modifikovani DEA model za izbor konsultanta za jednu aktivnost

Problem izbora konsultanta za realizaciju jedne aktivnosti na jednom projektu se svodi na određivanje mere efikasnosti svakog od raspoloživih konsultanata (DMU) i izbor najefikasnijeg konsultanta. Problem pri ovoj oceni efikasnosti se može javiti u slučaju postojanja relativno velikog broja kriterijuma (ključnih indikatora performansi), koji se posmatraju kao ulazi i izlazi, u odnosu na broj konsultanata. Osnovni DEA modeli prikazani u poglavlju 2. neće imati dovoljnu diskriminacionu moć u takvim slučajevima i neće omogućiti selekciju jednog, najefikasnijeg konsultanta. Zbog toga je razvijen modifikovani DEA model sa uključenim XOR (“eksluzivno ili”) ograničenjima koji podrazumeva da se u ocenu efikasnosti uključuje jedan od dva alternativna kriterijuma. Model predstavlja modifikaciju BCC DEA modela (2.14-2.18). Pretpostavlja se da je skup indikatora performansi podeljen na skup ulaza ( $i \in I$ ) i skup izlaza ( $r \in O$ ). Vrednosti ulaza  $x_{ic}$  ( $i \in I, c \in C$ ) i izlaza  $y_{rc}$  ( $r \in O, c \in C$ ) su date na osnovu istorijskih podataka o ključnim indikatorima performansi za svakog konsultanta ( $c \in C$ ) koji predstavlja DMU. Modifikacija DEA modela (Martinović & Savić, 2015) je data u formi (4.1-4.6).

$$\max h_k = \sum_{r \in O} u_r y_{rk} + u^* \quad (4.1)$$

p.o.

$$\sum_{i \in I} v_i x_{ik} = 1 \quad (4.2)$$

$$\sum_{r \in O} u_r y_{rc} - \sum_{i \in I} v_i x_{ic} + u^* \leq 0, \quad c \in \bigcup_{l=1}^L D_l \quad (4.3)$$

$$u_r \geq 0, \quad r \in O \quad (4.4)$$

$$v_i \geq 0, \quad i \in I \quad (4.5)$$

$$v_i v_{i+p} = 0, \quad i+p \leq |I|, \quad i \in I, \quad p \subset I \quad (4.6)$$

Ograničenje 4.3 je modifikovano sledeći principe modela predloženog od strane Bankera i Moreja (Banker & Morey, 1986b). Naime, pri rešavanju realnih problema, neki kriterijumi se iskazuju kao diskretne vrednosti  $1, 2, \dots, F$ . Ove vrednosti dele skup  $C$  na  $F$  kategorija. Posmatrani skup konsultanta  $C$  može biti definisan kao unija  $D = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_F$ . Konsultant  $DMU_k \in D_L, L \in \{1, \dots, F\}$ , može se procenjivati samo u skupu konsultanta koje se nalaze u istoj ili nižim kategorijama. To znači da ako  $k \in D_1$ ,  $DMU_k$  se procenjuje samo u podskupu kategorije  $D_1$ , ako  $k \in D_2$ ,  $DMU_k$  se procenjuje samo u podskupovima kategorija  $D_1$  i  $D_2$  ( $D_1 \cup D_2$ ) i tako dalje. Ograničenje 4.6 govori da će u proceni efikasnosti učestvovati ili indikator  $i$  ili indikator  $i+p$  tako što jednom od ova dva indikatora mora biti dodeljen težinski koeficijent jednak 0. Ovakvih ograničenja ima onoliko koliko ima parova alternativnih indikatora koji mogu međusobno da se isključe. Ukoliko je broj alternativnih indikatora takav da problem svodi na rešavanje problema gde je broj kriterijuma bar upola manji od broja alternativa, biće omogućena distinkcija efikasnih i neefikasnih konsultanata.

## 4.2. Modifikovani DEA model za raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti jednog projekta

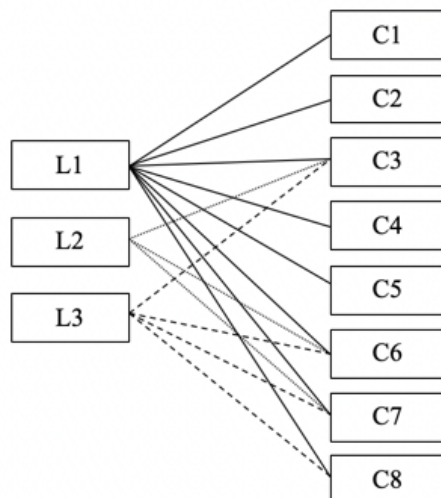
Pri implementaciji projekata često se istovremeno realizuje više modula na jednom projektu što znači da je potrebno rasporediti konsultante na više aktivnosti (pozicija) projekta. Problem je potrebno rešiti pri sledećim pretpostavkama:

- Na početku fiskalne godine sa realizacijom počinje skup od  $P$  projekata koji treba da se završe do kraja posmatranog perioda.
- Plan realizacije aktivnosti je poznat i unapred definisan.
- Realizuje se jedan projekat koji uključuje skup pozicija (aktivnosti)  $L$ .
- Na raspolaganju je skup konsultanata  $C$  koji mogu da preuzmu poziciju (realizuju aktivnosti)  $l \in L$ .
- Konsultant  $c \in C$  će izvršavati dodeljene aktivnosti  $l$  ( $l \in L$ ) na istom nivou kao u prošlosti pri čemu su raspoloživi istorijski podaci o vrednostima ključnih indikatora performansi.
- Indeks efikasnosti se računa kao zbir indeksa efikasnosti svih izabranih konsultanata.

Efikasnost realizacije projekta se računa kao zbir efikasnosti svih dodeljenih konsultanata  $c \in C$  na zadatke  $l \in L$ . Cilj je da se maksimizira efikasnost realizacije projekta i da se projekat završi u dogovorenom roku. Primer realizacije jednog projekta sa tri aktivnosti (L1-L3) koje može da realizuje svaki od 8 raspoloživih konsultanata (C1-C8) je prikazan šemom na slici 6.

Na osnovu šeme na slici 6. je jasno da ovako definisan problem raspoređivanja pripada grupi kompleksih kombinatornih problema. Maksimalni broj mogućih kombinacija konsultant-aktivnost je jednak  $|C| \times |L|$ . U cilju lakšeg rešavanja zadatog problema, primenjuje se aproksimativni pristup gde se određuje mogući skup pokrivanja (Christofides & Korman, 1975) svih aktivnosti na projektu definisanjem skupa mogućih šema konsultant-aktivnost  $S$ . Svaka šema  $s \in S$  predstavlja uređeni par  $(c, l)$ , ( $c \in C, l \in L$ ). Šema je dopustiva ako konsultant  $c \in C$  poseduje veštine i znanja da

realizuje aktivnost  $l \in L$  u vremenskom intervalu koji je definisan planom projekta. Prema tome broj mogućih šema je manji ili jednak od ukupnog broja svih kombinacija  $|C| \times |L|$  i zavisi od toga koliko i koje aktivnosti mogu da realizuju raspoloživi konsultanti. U skladu sa pretpostavkama, problem se može redefinisati na sledeći način: Potrebno je izabrati skup šema koje obezbeđuju maksimalnu efikasnost realizacije svih aktivnosti na projektu. To znači da je ukupna efikasnost projekta jednaka zbiru indeksa efikasnosti odgovarajućih izabranih šema. Efikasnost šeme je jednaka efikasnosti konsultanta  $c \in C$  pri realizaciji aktivnosti  $l \in L$ . Prema tome, za svakog konsultanta se određuje onoliko indeksa efikasnosti koliko aktivnosti može da realizuje, i obrnuto, za svaku aktivnost se određuje onoliko indeksa efikasnosti koliko je konsultanata kvalifikovano za njenu realizaciju. Cilj je da se pronade takva kombinacija šema koja daje maksimalnu ukupnu efikasnost realizacije projekta odnosno svih aktivnosti na projektu. To znači da nije neophodno da svaki konsultant bude raspoređen na aktivnost na kojoj ostvaruje maksimalnu efikasnost.



Slika 6. *Veza aktivnost- konsultant*

Za rešavanje definisanog problema predlaže se model mešovitog celobrojnog (binarnog) programiranja zasnovan na DEA modelu prioritizacije projekata (Cook & Green, 2000) gde se obezbeđuje selekcija portfolija projekata i istovremeno uvodi binarna promenljiva koja govori da li je projekat izabran ili ne.

Sličan princip kao kod izbora portfolija projekata se primenjuje pri kreiranju DEA modela za izbor konsultanata koji će realizovati neku aktivnost. Naime, šeme  $s \in S$  se posmatraju kao jedinice o kojima se odlučuje, a skup indikatora performansi se deli na skup ulaza ( $i \in I$ ) i skup izlaza ( $r \in O$ ) kao i u slučaju modela (4.1-4.6). U DEA model se uvode binarne promenljive  $q_s \in \{0,1\}$  koje govore da li je šema izabrana ili ne. Ako je šema  $s \in S$  izabrana odgovarajući konsultant  $c$  realizuje aktivnost  $l$ . Pored toga, zadato je i vreme potrebno za realizaciju svake aktivnosti  $t_s$  i dodeljeno šemama. Unapred je poznato i ukupno raspoloživo vreme rada konsultanata  $Tc$  izraženo u danima, kao i broj konsultanata  $U_l$  potreban za realizaciju  $l$ -te aktivnosti. Konsultant je dužan da realizuje aktivnost u ulozu koja mu je dodeljena za definisani broj dana  $i$  u roku ali sam može da odredi dinamiku rada.

Kreiran je DEA model mešovitog celobrojnog (binarnog) programiranja zasnovan na idejama DEA modela za određivanje prioriteta projekata (Cook & Green, 2000) istovremeno koristeći rezultate modela (2.32-2.35) - (2.36-2.39). Prema tome, pri selekciji šema podrazumevaju se zajednički težinski koeficijenti ulaza i izlaza za sve šeme i određuju se simultano rešavanjem samo jednog modela u formi (4.7-4.13).

Notacija korišćena u predloženom modelu je sledeća:

*Parametri:*

- $x_{is}$  -  $i$ -ti ulaz za  $s$ -tu šemu
- $y_{rs}$  -  $r$ -ti izlaz za  $s$ -tu šemu
- $t_s$  – zahtevani broj radnih dana za  $s$ -tu šemu (zavisi od aktivnosti  $l$  koji se realizuje šemom  $s$  od strane konsultanta  $c$ )
- $Tc$  – ograničenje za broj radnih dana za  $c$ -tog konsultanta
- $U_l$  – zahtevani broj konsultanata za realizaciju  $l$ -te aktivnosti

*Promenljive:*

- $v_i$  - težina dodeljena  $i$ -tom ulazu
- $u_r$  - težina dodeljena  $r$ -tom izlazu

- $q_s \in \{0,1\}$  - binarna promenljiva ima vrednost 1 ako je šema  $s$  izabrana i vrednost 0 u suprotnom.

Predloženi matematički model je dat u formi (4.7-4.13) (Savić, Kuzmanović, & Martinović, 2017).

$$\max e = \sum_{s \in S} e_s = \sum_{s \in S} q_s \left( \sum_{r \in O} v_r y_{rs} \right) \quad (4.7)$$

p.o

$$\sum_{s \in S} q_s \left( \sum_{i \in I} u_i x_{is} \right) = 1 \quad (4.8)$$

$$\sum_{r \in O} v_r y_{rs} - \sum_{i \in I} u_i x_{is} \leq 0, \quad s \in S \quad (4.9)$$

$$\sum_{s \in S} q_s = U_l, \quad \forall l \in L \quad (4.10)$$

$$\sum_{s \in S_c \subset S} q_s t_s \leq T_c, \quad \forall c \in C \quad (4.11)$$

$$q_s \in \{0,1\}, \quad s \in S \quad (4.12)$$

$$v_r \geq 0, u_i \geq 0, \quad r \in O, \quad i \in I \quad (4.13)$$

Funkcija cilja 4.7 maksimizira ukupnu efikasnost svih selektovanih šema. Gornja granica vrednosti indeksa efikasnosti svih izabranih šema je 1, što se vidi kroz ograničenja 4.8 i 4.9. Ograničenje 4.8 sumira virtuelni ulaz svih izabranih šema. Ograničenje 4.9 obezbeđuje da će efikasnost svih šema biti manja ili jednaka 1. Zahtevani broj konsultanata  $U_l$  je definisan pomoću ograničenja (4.10) kojim se sumira broj šema koje pripadaju podskupu  $s_c \subset S$  za svakog konsultanta  $\forall c \in C$ . Ovaj dodatni zahtev predstavlja takozvano „tvrdo“ ograničenje i mora biti ispunjen. Ograničenje broja radnih

dana („meko“ ograničenje) je realizovano kroz ograničenje (4.11) kojim se sumira vreme realizacije  $t_s$  za svaku izabranu šemu  $s$  koja je vezana za konsultanta  $c$  ( $s_c \subset S, c \in C$ ). Ovo ograničenje je slično kao ograničenje budžeta (2.53) generalizovanog modela raspoređivanja (2.52-2.54) u kome se zahteva da ukupni trošak svih izabranih izvršilaca aktivnosti bude manji ili jednak od zadatog budžeta.

Potrebni uslovi za pronalaženje dopustivog rešenja problema su sledeći:

1. Broj raspoloživih konsultanata odnosno broj šema koje odgovaraju određenoj aktivnosti ( $|S_l|, S_l \in S$ ) je veći ili jednak broju konsultanata zahtevanom za svaku aktivnost  $U_l, \forall l \in L$ ;
2. Ukupno vreme zahtevano za realizaciju svih aktivnosti je manje ili jednako ukupnom raspoloživom vremenu rada svih raspoloživih konsultanata

$$\sum_{s \in S} t_s \leq \sum_{c \in C} T_c.$$

Predloženi model (4.7-4.13) je nelinearan i može biti računski zahtevan za rešavanje problema većih dimenzija. U cilju linearizacije modela uvedene su nove promenljive  $g_{is} = q_s u_i$  i  $f_{rs} = q_s v_r$  i nova ograničenja (4.19-4.22). Sada novi linearizovani model ima formu (4.14-4.25):

$$\max e = \sum_{s \in S} \sum_{r \in O} f_{rs} y_{rs} \quad (4.14)$$

p.o

$$\sum_{s \in S} \sum_{i \in I} g_{is} x_{is} = 1 \quad (4.15)$$

$$\sum_{r \in O} v_r y_{rs} - \sum_{i \in I} u_i x_{is} \leq 0, \quad s \in S \quad (4.16)$$

$$\sum_{s \in S} q_s = U_{lp}, \quad \forall l \in L \quad (4.17)$$



$$\sum_{s \in S_c \subset S} q_s t_s \leq T, \forall c \in C \quad (4.18)$$

$$f_{rs} \leq q_s M, r \in R, s \in S \quad (4.19)$$

$$v_r - (1 - q_s)M \leq f_{rs} \leq v_r, r \in R, s \in S \quad (4.20)$$

$$g_{is} \leq q_s M, i \in I, s \in S \quad (4.21)$$

$$u_i - (1 - q_s)M \leq g_{is} \leq u_i, i \in I, s \in S \quad (4.22)$$

$$q_s \in \{0, 1\}, s \in S \quad (4.23)$$

$$f_{rs} \geq 0, g_{is} \geq 0, r \in O, i \in I, s \in S \quad (4.24)$$

$$v_r \geq 0, u_i \geq 0, r \in O, i \in I \quad (4.25)$$

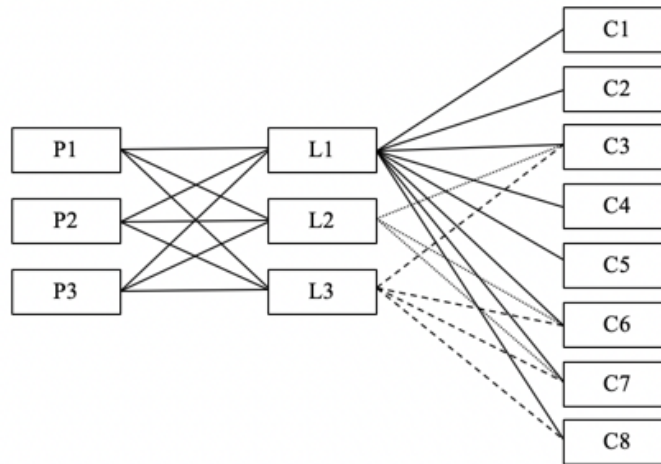
gde  $M$  predstavlja pozitivni veliki broj. Ograničenja (4.19-4.22) omogućavaju linearizaciju modela. Rešavanjem predloženog modela (4.14-4.25) i primenom definisanih smena dobijaju se vrednosti ukupne efikasnosti  $e$ , vrednosti za težinske koeficijente ulaza  $u_i$  i težinske koeficijente izlaza  $v_r$ , vrednosti indeksa efikasnosti pojedinih šema (konsultanta na pozicijama projekta)  $\sum_{r \in O} v_r y_{rs}$  i binarnih promenljivih  $q_s \in \{0, 1\}$ . Prema tome, model istovremeno određuje efikasnost i vrši raspoređivanje konsultanta na aktivnosti izborom šema.

### 4.3 Modifikovani DEA model za istovremeno raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti na više projekta

Donosilac odluke najčešće je u praksi u situaciji da treba da rasporedi više konsultanata koji poseduju veštine i znanja za realizaciju više različitih aktivnosti, a da se pri tome zahteva implementacija više različitih aktivnosti na više projekata istovremeno. To znači da je problem potrebno rešiti pri sledećim pretpostavkama:

- Na početku fiskalne godine, sa realizacijom počinje skup od  $P$  projekata koji treba da se završe do kraja posmatranog perioda.
- Plan realizacije svih projekata je poznat i unapred definisan.
- Svaki projekat  $p \in P$  uključuje podskup  $L_p$  iz skupa od  $L$  aktivnosti.
- Dat je skup konsultanata  $C$  i svaki konsultant može da realizuje bar jednu aktivnost  $l \in L$ .
- Konsultant  $c \in C$  će izvršavati dodeljene aktivnosti  $l$  ( $l \in L$ ) na istom nivou kao u prošlosti pri čemu su raspoloživi istorijski podaci o vrednostima ključnih indikatora performansi.
- Efikasnost realizacije projekta se računa kao zbir indeksa efikasnosti svih dodeljenih konsultanata  $c \in C$  na aktivnosti  $l \in L$  na projektu  $p \in P$ .

Cilj je da se maksimizira efikasnost realizacije svih projekta u ograničenom vremenu. Primer problema u kom se realizuju tri projekta, svaki sa po tri aktivnosti (L1-L3) koje može da realizuju 8 konsultanata (C1-C8), se može prikazati šemom na slici 7.



Slika 7. Veza projekat-aktivnost-konsultant

Maksimalni broj mogućih kombinacija projekat-aktivnost-konsultant je jednak  $|P| \times |L| \times |C|$ . Problem se rešava slično kao u slučaju raspoređivanja konsultanata na jedan projekat. Svaka šema  $(s \in S_p \subset S, \forall p \in P)$  predstavlja uređenu troj  $(p, l, c)$ ,  $(p \in P, l \in L, c \in C)$ . Prema tome broj mogućih odnosno dopustivih šema je manji ili jednak od ukupnog broja svih kombinacija  $|P| \times |L| \times |C|$  i zavisi od toga koliko i koje aktivnosti mogu da realizuju raspoloživi konsultatni i koje aktivnosti je neophodno realizovati na kom projektu iz zadatog skupa  $P$ . Prema tome, iz dopustivog skupa je potrebno izabrati skup šema koje obezbeđuju maksimalnu efikasnost realizacije svih aktivnosti na svim projektima. To znači da je efikasnost jednog projekta jednaka zbiru indeksa efikasnosti pripadajućih izabranih šema  $(s \in S_p \subset S, \forall p \in P)$ , a ukupna efikasnost je jednaka zbiru efikasnosti svih izabranih šema  $(s \in S)$ . Za definisanje novog modela (4.26-4.32) se koristi ista notacija kao kod modela (4.7-4.13) i vrši se njegova modifikacija (Martinović & Savić, 2019) koja omogućava izvršavanje više projekata simultano sa raspoređivanjem konsultanata na najefikasniji način.

$$\max e = \sum_{s \in S} e_s = \sum_{s \in S} q_s \left( \sum_{r \in O} v_r y_{rs} \right) \quad (4.26)$$

p.o

$$\sum_{s \in Sp \subset S} q_s \left( \sum_{i \in I} u_i x_{is} \right) = 1, \forall p \in P \quad (4.27)$$

$$\sum_{r \in O} v_r y_{rs} - \sum_{i \in I} u_i x_{is} \leq 0, \quad s \in S \quad (4.28)$$

$$\sum_{s \in S_p \subset S} q_s = U_{lp}, \forall l \in L, \forall p \in P \quad (4.29)$$

$$\sum_{s \in S_c \subset S} q_s t_s \leq T, \forall c \in C \quad (4.30)$$

$$q_s \in \{0,1\}, \quad s \in S \quad (4.31)$$

$$v_r \geq 0, u_i \geq 0, \quad r \in O, \quad i \in I \quad (4.32)$$

gde je  $q_s$  binarna promenljiva koja ima vrednost 1 ako je šema  $s$  izabrana i vrednost 0 u suprotnom. Izabrana šema znači da odgovarajući konsultant  $c$  realizuje aktivnost  $l$  na projektu  $p$ . Razlika u odnosu na model (4.7-4.13) se vidi u ograničenjima 4.27 gde se zahteva da maksimalna efikasnost svakog projekta bude jednaka 1 tako što se sabira efikasnost šema koje pripadaju jednom projektu ( $s \in Sp \subset S$ ), a broj ograničenja je jednak broju projekata  $|P|$ . Zahtevani broj konsultanata  $U_{lp}$  za svaki projekat je definisan pomoću ograničenja (4.29) kojim se sumira broj izabranih šema koje pripadaju podskupu  $Sp \subset S$  za svaku aktivnost ( $\forall l \in L$ ) i svaki projekat ( $\forall p \in P$ ).

Potrebni uslovi za pronalaženje dopustivog rešenja problema su sledeći:

1. Broj raspoloživih konsultanata odnosno broj šema koje odgovaraju određenoj aktivnosti ( $|S_l|, S_l \in S$ ) je veći ili jednak broju konsultanata zahtevanom za

$$\text{svaku aktivnost na svim projektima } |S_l| \geq \sum_{\forall p \in P} U_{lp}, \forall l \in L, S_l \in S;$$

2. Ukupno vreme zahtevano za realizaciju svih aktivnosti je manje ili jednako ukupnom raspoloživom vremenu rada svih raspoloživih konsultanata

$$\sum_{s \in S} t_s \leq \sum_{c \in C} T_c.$$

3. Ukupno vreme zahtevano za realizaciju svake aktivnosti je manje ili jednako raspoloživom vremenu rada svih raspoloživih konsultanta koji mogu da

$$\text{realizuju aktivnost } l \left( \sum_{s \in S_l \subset S} t_s \leq \sum_{c \in C_l \subset C} T_c, l \in L \right).$$

Predloženi model (4.26-4.32) je takođe nelinearan i linearizuje se na isti način kao model (4.7-4.13). Novi linearni model ima formu (4.33-4.44):

$$\max e = \sum_{s \in S} \sum_{r \in O} f_{rs} y_{rs} \quad (4.33)$$

p.o

$$\sum_{s \in S} \sum_{i \in I} g_{is} x_{is} = 1 \quad (4.34)$$

$$\sum_{r \in O} v_r y_{rs} - \sum_{i \in I} u_i x_{is} \leq 0, \quad s \in S \quad (4.35)$$

$$\sum_{s \in S} q_s = U_{lp}, \quad \forall l \in L \quad (4.36)$$

$$\sum_{s \in S_c \subset S} q_s t_s \leq T, \quad \forall c \in C \quad (4.37)$$

$$f_{rs} \leq q_s M, \quad r \in R, s \in S \quad (4.38)$$

$$v_r - (1 - q_s)M \leq f_{rs} \leq v_r, \quad r \in R, s \in S \quad (4.39)$$

$$g_{is} \leq q_s M, \quad i \in I, s \in S \quad (4.40)$$

$$u_i - (1 - q_s)M \leq g_{is} \leq u_i, \quad i \in I, s \in S \quad (4.41)$$

$$q_s \in \{0, 1\}, \quad s \in S \quad (4.42)$$

$$f_{rs} \geq 0, g_{is} \geq 0, \quad r \in O, i \in I, s \in S \quad (4.43)$$

$$v_r \geq 0, u_i \geq 0, \quad r \in O, i \in I \quad (4.44)$$

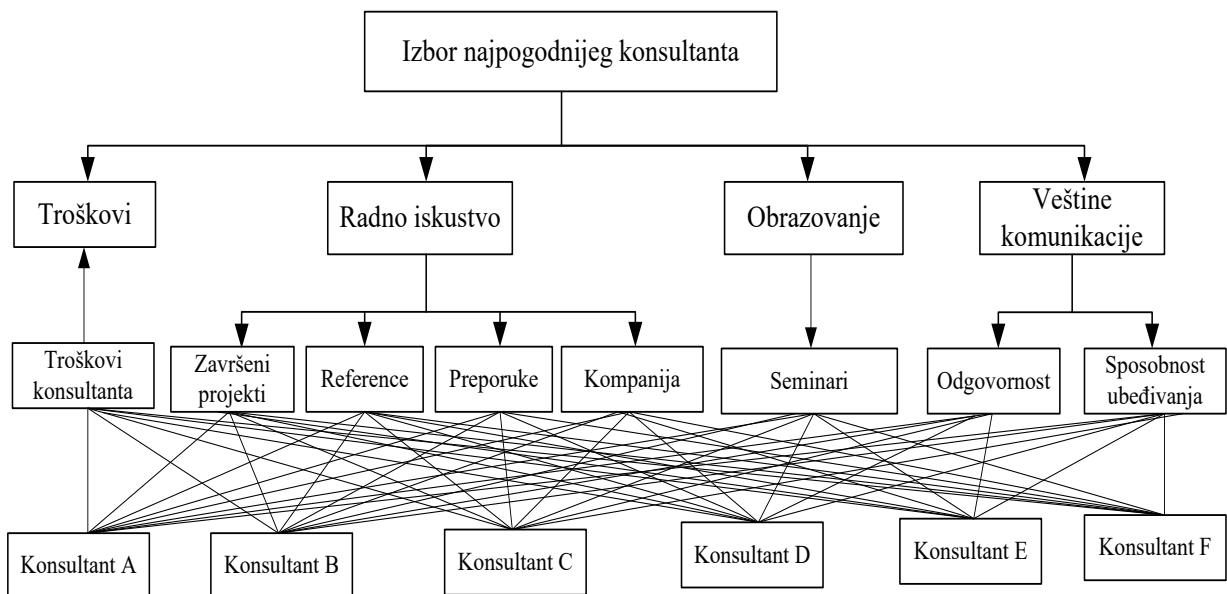
Rešavanjem predloženog modela i primenom uvedenih smena mogu se dobiti ocena ukupne efikasnosti  $e$ , težina ulaza  $u_i$  i izlaza  $v_r$ , vrednosti indeksa efikasnosti pojedinih šema (konsultanta na dodeljenim aktivnostma na određenom projektu)  $\left( \sum_{r \in O} v_r y_{rs} \right)$ , efikasnosti pojedinih projekata  $q_s \left( \sum_{r \in O} v_r y_{rs} \right)$ ,  $s \in S_p \subset S, \forall p \in P$  i binarnih promenljivih  $q_s \in \{0, 1\}$ . Prema tome, model istovremeno određuje ukupnu efikasnost, efikasnost svakog pojedinačnog projekta i vrši raspoređivanje konsultanata na aktivnosti izborom odgovarajućih šema.

## 5. Primena DEA modela za raspoređivanje konsultanata

U ovom poglavlju su predstavljeni primeri primena modela za izbor i raspoređivanje konsultanata zasnovanih na oceni efikasnosti.

### 5.1 Izbor najefikasnijeg konsultanata za jednu aktivnost projekta

Osnovne pretpostavke ovog modela su da je na jednom projektu potrebno realizovati jednu aktivnost (pozicija) za koju se bira konsultant koji će je realizovati. Izbor se u ovom slučaju najčešće odnosi na poziciju vođe projekta. Na raspolaganju je više konsultanata koji poseduju znanja, veštine i odgovarajuće sertifikate da realizuju ovu aktivnost. Ovakav problem izbora konsultanta se može definisati na četiri nivoa hijerarhije.



Slika 8. Hijerarhija problema selekcije konsultanata

Cilj analize je definisan na nivou 1, na nivou 2. i 3. su definisani kriterijumi i potkriterijumi selekcije onosno izbora, dok su alternative za slučaj izbora za jednu aktivnost na jednom projektu date na 4. nivou (Slika 8). Osnovni kriterijumi raspodele koji se uzimaju u obzir pri raspodeli su cena rada odnosno troškovi angažovanja jednog konsultanta, radno iskustvo, obrazovanje i komunikacione veštine.

Obrazloženje kriterijuma i potkriterijuma prikazanih na novima hijerarhije 2. i 3. je sledeće:

## **Nivo 2. Troškovi**

### **Nivo 3.**

- Cena rada konsultanta (CC): Predstavlja cenu rada jednog konsultanta po danu.

## **Nivo 2. Radno iskustvo**

### **Nivo 3.**

- Završeni projekti (PC): Definiše se procentom životnog ciklusa projekta u koji je konsultant bio uključen.
- Reference (RE): Definiše se brojem referenci konsultanta.
- Preporuke klijenata (CR): Ocena zadovoljstva klijenata posle završenog projekta u posmatranoj oblasti implementacije (opseg 1 do 5).
- Kompanija (CE): Definiše tip kompanija iz koje dolazi konsultant (interni, delimično eksterni i potpuno eksterni).

## **Nivo 2. Obrazovanje**

### **Nivo 3.**

- Seminari (OS): Kursevi (treninzi) ili sertifikati koje poseduje konsultant (SAP modul koji je deo projekta koji se implementira).

**Nivo 2. Veštine komunikacije** (procenjuje menadžer prilikom intervjua sa potencijalnim konsultantom).

### **Nivo 3.**

- Odgovornost (AR): Odnosi se na pokazanu odgovornost u pogledu rada i raspoloživost konsultanta da odgovara na pitanja i zahteve klijenta na vreme.



- Sposobnost ubeđivanja (AP): Odnosi se na sposobnost konsultanta da predstavi primere najbolje prakse klijentu i da ga ubedi da prihvati ponuđeno rešenje.

Ukoliko bi se problem rešavao kao problem višekriterijumskog odlučivanja, bilo bi potrebno za svaki od kriterijuma nivoa 3. odrediti težine, na osnovu koji bi se izvršila agregacija na nivou 2. a zatim odredili rangovi konsultanata na osnovu vrednosti kriterijuma i njihovih težina primenom neke od metoda višekriterijumske analize (na primer AHP, Čupić et al., 2003). Sa druge strane, ukoliko se primenjuje predloženi DEA model potrebo je da se skup kriterijuma nivoa 3. podeli na skup ulaznih i skup izlaznih kriterijuma u skladu sa ulaganjima u konsultanta i rezultatima koje on postiže. Prema tome, skup ulaznih kriterijuma čine ključni indikatori performansi: Troškovi (CC), Završeni projekti (PC), Reference (RE), Seminari (OS) ( $I = \{C, PC, RE, OS\}$ ). Skup ulaznih kriterijuma čine ključni indikatori performansi: Preporuke klijenata (CR), Odgovornost (AR), Sposobnost ubeđivanja (AP) ( $O = \{CR, AR, AP\}$ ) Polazni podaci na osnovu kojih se vrši ocena efikasnosti i selekcija konsultanta su dati u tabeli 1. Kriterijum kompanija (CE) je posmatran kao ordinalna varijabla koja govori da li je konsultant interno (Int), delimično eksterno (Ext) ili potpuno eksterno angažovan (Ext1).

**Tabela 1.** Inicijalne vrednosti indikatora performansi

	Ulazi				Izlazi			CE
	CC	PC	RE	OS	CR	AR	AP	
Konsultant A	560	70	2	2	3.00	Dobar	Prosečan	Ext
Konsultant B	650	90	2	2	3.25	Dobar	Vrlo dobar	Ext
Konsultant C	670	100	5	4	5.00	Odličan	Odličan	Int
Konsultant D	600	80	2	1	3.50	Dobar	Dobar	Ext
Konsultant E	690	100	4	3	4.00	Vrlo dobar	Vrlo dobar	Ext1
Konsultant F	740	100	7	4	5.00	Odličan	Odličan	Int

Nakon prikupljanja podataka izvršena je njihova kvantifikacija i vrednosti su prikazane u tabeli 2. Kriterijum kompanije (CE) je posmatran kao ordinalna varijabla sa vrednostima 1 za internog konsultanta (poredi se samo sa konsultantima iz svoje kategorije), 2 za Ext (poredi se sa konsultantima iz svoje i kategorije 1) i 3 za Ext1. (poredi se sa celim skupom). Ovaj kriterijum se ne koristi za ocenu indeksa efikasnosti već za kategorizaciju konsultanata i obezbeđuje da se interni konsultanti porede u skupu sa najmanjim brojem jedinica o kojima se odlučuje. To znači da će najveći broj internih konsultanata biti ocenjen kao relativno efikasan, i najpre će biti izabran konsultant iz ove grupe za realizaciju tražene aktivnosti.

**Tabela 2.** Numeričke vrednosti indikatora performansi

	Ulazi				Izlazi			CE
	CC	PC	RE	OS	CR	AR	AP	
Konsultant A	560	70	2	2	3.00	5	3	2
Konsultant B	650	90	2	2	3.25	5	7	2
Konsultant C	670	100	5	4	5.00	9	9	1
Konsultant D	600	80	2	1	3.50	5	5	2
Konsultant E	690	100	4	3	4.00	7	7	3
Konsultant F	740	100	7	4	5.00	9	9	1

Evaluacija efikasnosti konsultanta je eksperimentalno vršena primenom različitih modela. Prvo je korišćen osnovni CCR DEA model gde se veliki procenat konsultanata pokazao kao relativno efikasan kao što je i očekivano, s obzirom da je broj kriterijuma jednak 7, a broj konsultanta 6. Iz istog razloga primena kategorijskog modela ne daje rezultat i nije moguće izvršiti diskriminaciju među konsultantima. Bolja diskriminacija bi se postigla smanjenjem broja kriterijuma. Poznato je u teoriji da veliki broj kriterijuma u odnosu na broj jedinica o kojoj se odlučuje smanjuje diskriminacionu moć metode i zbog toga je izvršena korelaciona analiza prikazana u tabeli 3.

**Tabela 3.** Korelaciona analiza

	<i>CC</i>	<i>PC</i>	<i>RE</i>	<i>OS</i>	<i>CR</i>	<i>AR</i>	<i>AP</i>
CC	1						
PC	0.934	1.000					
RE	0.863	0.765	1.000				
OS	0.804	0.816	0.935	1.000			
CR	0.779	0.783	0.906	0.884	1.000		
AR	0.796	0.804	0.952	0.982	0.952	1.000	
AP	0.909	0.947	0.801	0.875	0.800	0.841	1.000

Rezultati korelacione analize su pokazali da postoje kriterijumi sa visokom korelacijom i da je moguće neke od njih eliminisati iz analize, a da ne dođe do velikih promena indeksa efikasnosti. Međutim, pri rešavanju realnih problema može se pokazati da bez obzira što postoje veoma jake korelacije između pojedinih kriterijuma i što se oni mogu jedinstveno posmatrati, tesko je odlučiti koji bi od kriterijuma trebalo eliminisati iz dalje analize. Zbog toga su autori odlučili da koriste “XOR - ekskluzivno ili” logičko pravilo. Na taj način je omogućeno svakoj jedinici o kojoj se odlučuje (konsultantu) da izabere jedan od dva kriterijuma, koji imaju vezu “ekskluzivno ili”, koji je za nju povoljniji za postizanje višeg nivoa efikasnosti (ima manju vrednost za ulaz ili veću vrednost za izlaz). Izabrani su parovi ulaznih i izlaznih kriterijuma koji imaju koeficijente korelacije veće od 0.9 i između njih je postavljena veza “ekskluzivno ili”. Analiziran je primer sa prva tri para kriterijuma od kojih su prva dva para na strani ulaza a poslednji par se nalazi na strani izlaza. Konačno, vrednosti kriterijuma zajedno sa njihovim međusobnim relacijama su prikazani u tabli 4:

**Tabela 4.** Vrednosti i relacije između kriterijuma

	Ulazi				Izlazi			CE
	CC $\surd$ PC		RE $\surd$ OS		CR $\surd$ AR		AP	
Konsultant A	560	70	2	2	3.00	5	3	2
Konsultant B	650	90	2	2	3.25	5	7	2
Konsultant C	670	100	5	4	5.00	9	9	1
Konsultant D	600	80	2	1	3.50	5	5	2
Konsultant E	690	100	4	3	4.00	7	7	3
Konsultant F	740	100	7	4	5.00	9	9	1

Rezultati primene različitih DEA modela su dati u tabeli 5. Rezultati su dobijeni primenom Excel solvera.

**Tabela 5.** Rezultati analize efikasnosti i selekcije konsultanata

DMU	$h_k^*$ (CCR)	$h_k^*$ (CCR) <i>Kategorijski model</i>	$h_k^*$ <i>(RE/OS)</i>	$h_k^*$ <i>(RE/OS)</i> <i>Kategorijski model</i>	$h_k^*$ <i>(RE/OS, CC/PC, CR/AR)</i>	$h_k^*$ <i>(RE/OS, CC/PC, CR/AR)</i> <i>Kategorijski model</i>
A	1.000	1.000	0.472	0.472	0.779	0.779
B	1.000	1.000	0.860	0.860	1.000	1.000
C	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
D	1.000	1.000	0.690	0.690	0.789	0.789
E	0.892	1.000	0.776	0.776	0.843	0.957
F	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993

Rezultati prikazani u drugoj koloni tabele 5. su dobijeni primenom CCR DEA modela (2.5-2.9), dok su rezultati u trećoj koloni dobijeni primenom DEA modela sa kategorijskim varijablama (4.1-4.6). Kategorijska varijabla CE govori kojoj kategoriji pripada konsultant. Rezultati ova dva modela se ne razlikuju i moguće je izabrati čak 4 konsultanta od 6 raspoloživih, što znači da je izbor neznatno sužen. Za rangiranje efikasnih konsultanta mogla bi da se primeni neka od metoda opisana u poglavlju 2.1. Međutim, diskriminacija između efikasnih i neefikasnih jedinica bi i dalje ostala loša pa je zbog toga primenjivan predloženi model (4.1-4.5) kojim se smanjuje broj kriterijuma koji učestvuju u analizi. Rezultati u četvrtoj koloni su dobijeni kada se koristi predloženi model (4.1-4.6), pri čemu se posmatra ceo skup od 6 konsultanata bez obzira da li on pripada grupi internih ili delimično ili potpuno eksterno anagažovanih konsultanata, odnosno ne razmatra se kategorijska varijabla CE. Pri oceni efikasnosti konsultanata bira se između kriterijuma RE i OS. U ovom slučaju će biti izabran konsultant C jer ima visoke vrednosti izlaznih indikatora, a prosečne vrednosti ulaznih indikatora. Kolona 4. prikazuje rezultate sa ograničenjem 4.3, što ne donosi promenu u indeksu efikasnosti. Na kraju, eksperiment je izvršen sa alternacijom sva tri para kriterijuma i dobijeno je da su konsultanti B i C najefikasniji (kolone 5 i 6).

Rezultati svih eksperimenata pokazuju da kategorizacija malog broja jedinica o kojoj se odlučuje ne dovodi do bolje diskriminacije na efikasne i neefikasne, ali uvođenje ograničenja “ekskluzivno ili” ukoliko je moguća potpuna alternacija između dva kriterijuma omogućava izbor najefikasnih konsultanta, a samim tim i njihovo rangiranje.

Primeri primena pokazuju da se predloženi model (4.1-4.6) lako modifikuje i zato je pogodan za selekciju konsultanata. Model se može primenjivati kada je potrebno izabrati jednog konsultanta za jednu poziciju (aktivnost) na projektu, a pri tome je odnos broja kriterijuma i broja raspoloživih konsultanata nepovoljan. Posebno je bitna primena ograničenja “ekskluzivno ili” ako je moguća potpuna alternacija između dva kriterijuma a nije lako odlučiti da li se neki od ovih kriterijuma može izbaciti iz analize.

## 5.2. Raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti jednog projekta

Eksperimentalno je rešavan problem koji odgovara realnoj situaciji manje kompanije ili konsultantske kuće koja u toku godine realizuje samo jedan novi projekat. Potrebno je izabrati i rasporediti konsultante na 3 pozicije projekta ako svaki konsultant može da radi maksimalno 228 dana. Broj raspoloživih konsultanata je 8. Maksimalni broj kombinacija, odnosno šema koje se mogu kreirati na osnovu kombinacije svake pozicije na koju se bilo koji raspoloživi konsultant može rasporediti bi bio 24. Međutim, u realnoj situaciji, moraju se razmatrati znanja, veštine i kvalifikacije koje poseduje svaki konsultant.

**Tabela 6.** Ulazni podaci – vrednosti kriterijuma

			Ulazi				Izlazi			<i>T<sub>c</sub></i>
S	C	L	CC	PC	RE	OS	CR	AR	AP	
S1	C1	L1	400	2	4	2	3.00	5	3	228
S2	C2	L1	450	3	5	2	3.25	5	7	228
S3	C3	L1	500	5	6	4	5.00	9	9	228
S4	C3	L2	500	4	3	4	5.00	9	9	228
S5	C3	L3	500	3	3	4	5.00	9	9	228
S6	C4	L1	470	3	2	2	3.50	5	5	228
S7	C5	L1	490	3	4	3	4.30	7	7	228
S8	C6	L1	550	5	7	4	5.00	9	9	228
S9	C6	L2	550	4	4	3	4.80	9	9	228
S10	C6	L3	550	3	2	2	4.50	7	7	228
S11	C7	L1	520	4	2	2	3.65	5	3	228
S12	C7	L2	520	3	2	2	2.90	3	4	228
S13	C7	L3	520	1	1	2	2.60	5	2	228
S14	C8	L1	510	5	4	3	5.00	6	6	228
S15	C8	L3	510	2	2	2	4.00	7	5	228

S obzirom da ne mogu svi konsultanti da realizuju sve pozicije (aktivnosti), postoji ukupno 15 dopustivih šema (S1-S15) koje govore za svakog konsultanta na koju poziciju bi potencijalno mogao biti raspoređen. Ulazni podaci za svaku od njih su dati u tabeli 6. Nazivi kolona tabele odgovaraju oznakama u modelu (4.14-4.25) koji je korišćen za ocenu efikasnosti (S-šema, C-konsultant, L-pozicija ili aktivnost). Kriterijumi su preuzeti iz primera datog u poglavlju 5.1, a njihove vrednosti su dodeljene iskustveno u cilju simulacije realne situacije.

Vremena potrebna za realizaciju aktivnosti su 144 dana za L1 i neophodna su 2 konsultanta, 72 dana za L2 i 144 dana za L3. Za aktivnosti L2 i L3 neophodan je po jedan konsultant. Prema tome, potrebno je selektovati 4 konsultanta odnosno 4 šeme sa maksimalnom ukupnom efikasnošću. Kao što je već rečeno, za rešavanje definisanog problema koristi se model (4.14-4.25).

**Tabela 7.** Rezultati procene indeksa efikasnosti i izbora konsultanata

S	C	L	Efikasnost	Izabran
S1	C1	L1	0.1565	0
S2	C2	L1	0.1666	0
<b>S3</b>	<b>C3</b>	<b>L1</b>	<b>0.2653</b>	<b>1</b>
S4	C3	L2	0.2653	0
S5	C3	L3	0.2653	0
S6	C4	L1	0.1768	0
S7	C5	L1	0.2231	0
S8	C6	L1	0.2653	0
<b>S9</b>	<b>C6</b>	<b>L2</b>	<b>0.2571</b>	<b>1</b>
<b>S10</b>	<b>C6</b>	<b>L3</b>	<b>0.2313</b>	<b>1</b>
S11	C7	L1	0.183	0
S12	C7	L2	0.1387	0
S13	C7	L3	0.1401	0
<b>S14</b>	<b>C8</b>	<b>L1</b>	<b>0.2449</b>	<b>1</b>
S15	C8	L3	0.2109	0

Rezultati ocene efikasnosti su dati u tabeli 7. Za aktivnost L1 najefikasniji su konsultanti C3 i C6. Za aktivnosti L2 i L3 najefikasniji je C3, pa zatim ponovo konsultant C6. Ni jedan od ovih konsultanata zbog ograničenja broja radnih dana ne može istovremeno da realizuje aktivnosti L1 i L3 i zbog toga je optimalna kombinacija sledeća: izabrana su tri konsultanta i to prema šemama S3, S14 (konsultanti C3 i C8 za aktivnost L1), S9 (konsultant C6 za aktivnost L2) i S10 (konsultant C6 za aktivnost L3).

Sumarni rezultati ocene efikasnosti su dati u tabeli 8. i pokazuju da će ukupna efikasnost realizacije projekta biti 0.9986. Samo je konsultant C6 ukupno anagažovan 216 dana, što znači da ima ispunjen godišnji prag angažovanja (+20% u odnosu na definisanih 228 radnih dana). Konsultanti C3 i C8 su angažovani po 144 dana, što znači da će kasnije u toku godine moći da se anagažuju i na drugim potencijalnim projektima. Ostali konsultanti neće biti raspoređeni i ukoliko nema drugih projekata u toku posmatrane godine, neće ostvariti godišnji cilj i imaće neodgovarajuću vrednost ključnog indikatora performansi koji utiče na raspoređivanje u budućnosti.

**Tabela 8.** Sumarni rezultati analize efikasnosti i raspoređivanja

Šema (S)	Konsultant (C)	Aktivnost (L)	Efikasnost	Broj radnih dana
S3	C3	L1	0.2653	144
S9	C6	L2	0.2571	216
S10	C6	L3	0.2313	
S14	C8	L1	0.2449	144
		<b>Ukupno</b>	<b>0.9986</b>	<b>Max=228</b>

Model (4.14-4.25) je eksperimentalno rešavan primenog GLPK softvera za različite dimenzije i numerički rezultati su dati u tabeli 9. Prva kolona tabele 9. predstavlja broj konsultanata, druga kolona predstavlja broj aktivnosti, treća ukupan broj mogućih kombinacija a četvrta broj dopustivih kombinacija odnosno šema. U petoj i šestoj koloni su dati podaci o vremenu potrebnom za pronalaženje rešenja i utrošenoj memoriji. Značajan skok u potrebnom vremenu i memoriji se dešava svaki put kada se poveća sa 3 na 5 broj aktivnosti na koje se raspoređuju konsultanti. Na primer, iako je rešenje pronađeno bilo je potrebno skoro 20 minuta za rešavanje problema sa 20 konsultanata



koji se raspoređuju na 5 aktivnost uzimajući u obzir 43 dopustive šeme. Zaključak je da bi bilo dobro razvijati specijalne heuristike za ubrzano rešavanje ovih problema većih dimenzija.

**Tabela 9.** Sumarni rezultati eksperimenata

$ C $	$ L $	$ C \times L $	$ S $	Vreme (sec)	Memorija (Mb)	Ukupna efikasnost
8	3	24	15	0.4	1.4	0.9985
8	5	40	19	0.4	1.6	0.9938
15	3	45	36	12.8	10.7	1
15	5	75	36	80.4	43.6	1
20	3	60	43	58.8	38.9	1
20	5	100	43	1192.1	204.2	1

### 5.3. Raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti na više projekata

Potrebno je izvršiti implementaciju tri projekta istovremeno (jedan veliki, jedan srednji i jedan po obimu mali projekt). Svaki projekat zahteva angažovanje dva konsultanta (L1), jednog arhitekta rešenja (L2) i jednog vođe projekta (L3), što znači ponovo 4 konsultanta po projektu. Sa druge strane, 8 konsultanata poseduje veštine da budu raspoređeni na neku od ovih aktivnosti. Maksimalan broj šema koji bi mogao biti kreiran je  $|P| \times |L| \times |C| = 3 \times 3 \times 8 = 72$ , ali dopustivo je samo 45 šema (15 za svaki projekat) koje su definisane u skladu sa veštinama i kvalifikacijama konsutanata. Svi konsultanti mogu da realizuju aktivnost L1, konsultanti C3, C6 i C7 mogu da izvrše aktivnost L2 i samo 4 konsultanta (C3, C6, C7 i C8) mogu da budu raspoređena da realizuju aktivnost L3. Tako je formiran skup od 45 šema odnosno jedinica o kojoj se odlučuje.

**Tabela 10.** Dodatna ograničenja

Projekat ( $p$ )	Pozicija ( $l$ )	Zahtevani broj dana ( $t_s$ )	Zahtevani broj konsultanata ( $U_{sp}$ )	Ukupno vreme
P1	L1	144	1	504
P1	L2	72	1	
P1	L3	144	2	
P2	L1	120	1	420
P2	L2	60	1	
P2	L3	120	2	
P3	L1	96	1	336
P3	L2	48	1	
P3	L3	96	2	

Ulazno-izlazni kriterijumi i njihove vrednosti su iste kao u tabeli 6. za svaki od tri projekta. Šeme se kreiraju na isti način kao u tabeli 6, samo se ponavljaju za svaki projekat pošto se zahteva realizacija istih pozicija na svakom od projekta kao što je prikazano u

tabelama 11-13. Podaci o dodatnim zahtevima projekata su dati u tabeli 10, dok je broj radnih dana konsultanta ograničen na maksimalno 228 dana godišnje. Ukupno zahtevano vreme za realizaciju projekata je 1250 radnih dana, a 8 konsultanata raspolažu sa ukupno 1824 radna dana, što znači da je moguće pronaći dopustivo rešenje, ako je ukupan broj radnih dana konsultanata po pozicijama zadovoljavajući. Prema zadatim podacima, za realizaciju aktivnosti L1 zahteva se ukupno 360 radnih dana, a maksimalno je raspoloživo 1840 radnih dana pošto svi raspoloživi konsultanti poseduju veštine da realizuju aktivnost L1. Za realizaciju aktivnosti L2 je potrebno 180 radnih dana, a raspoloživo 684 radnih dana od strane konsultanta C3, C6 i C7. Na kraju potrebno je 720, a raspoloživo 912 radnih dana za realizaciju aktivnosti L3 od strane konsultanta C3, C6, C7 i C8. Može se zaključiti da za ovako definisan problem postoji dopustivo rešenje.

Za ocenu efikasnosti i raspoređivanje konsultanata je korišćen predloženi model (4.33-4.44) uz dodatno ograničenja 5.1 (jedan konsultant može da obavi samo jednu aktivnost na jednom projektu).

$$\sum_{s \in S_{lc} \subset S} q_s \leq 1, l = 1, c \in C \quad (5.1)$$

Rezultati analiza, preuzeti iz rada Martinović i Savić (2019), prikazani su u tabelama 11-13. Indeks efikasnosti svake šeme će zavistiti samo od vrednosti ulaza i izlaza, a ne i od projekta na koji se raspoređuje. U tabeli su dati indeksi efikasnosti za svaki projekat po 15 šema (za druga dva projekta P2 i P3 indeksi efikasnosti šema se ponavljaju odnosno identični su kao za prvi projekat P1). Očekivana prosečna efikasnost svake šeme je 0.25 pošto se svakom projektu dodeljuju po 4 konsultanta (biraju se 4 šeme), a zbir njihovih indeksa efikasnosti može biti maksimalno 1. Najefikasniji konsultant sa indeksom 0.2938, je C3 pri realizaciji sve tri pozicije (L1, L2 ili L3) i C6 na poziciji L1, dok je najneefikasniji konsultant C7 pri realizaciji pozicija L2 i L3.

**Tabela 11.** Vrednosti ulaza, izlaza i indeksi efikasnosti (Martinović & Savić, 2019)

Projekat	Aktivnost Konsultant		Ulazi				Izlazi			Indeks efikasnosti
			CC	TR	RE	PR	CR	AR	AP	
P	L	C	$x_{1s}$	$x_{2s}$	$x_{3s}$	$x_{4s}$	$y_{1s}$	$y_{2s}$	$y_{3s}$	
P1	L1	C1	400	2	4	2	3	5	3	0.173
P1	L1	C2	450	3	5	2	3.25	5	7	0.185
P1	L1	C3	500	5	6	4	5	9	9	0.294
P1	L2	C3	500	4	3	4	5	9	9	0.294
P1	L3	C3	500	3	3	4	5	9	9	0.294
P1	L1	C4	470	3	2	2	3.5	5	5	0.196
P1	L1	C5	490	3	4	3	4.3	7	7	0.247
P1	L1	C6	550	5	7	4	5	9	9	0.294
P1	L2	C6	550	4	4	3	4.8	9	9	0.285
P1	L3	C6	550	3	2	2	4.5	7	7	0.256
P1	L1	C7	520	4	2	2	3.65	5	3	0.203
P1	L2	C7	520	3	2	2	2.9	3	4	0.155
P1	L3	C7	520	1	1	2	2.6	5	2	0.155
P1	L1	C8	510	5	4	3	5	6	6	0.272
P1	L3	C8	510	2	2	2	4	7	5	0.234

**Tabela 12. (nastavak 1) Vrednosti ulaza, izlaza i indeksi efikasnosti (Martinović & Savić, 2019)**

Projekat P	Aktivnost Konsultant L C		Ulazi				Izlazi			Indeks efikasnosti
			CC $x_{1s}$	TR $x_{2s}$	RE $x_{3s}$	PR $x_{4s}$	CR $y_{1s}$	AR $y_{2s}$	AP $y_{3s}$	
P2	L1	C1	400	2	4	2	3	5	3	0.173
P2	L1	C2	450	3	5	2	3.25	5	7	0.185
P2	L1	C3	500	5	6	4	5	9	9	0.294
P2	L2	C3	500	4	3	4	5	9	9	0.294
P2	L3	C3	500	3	3	4	5	9	9	0.294
P2	L1	C4	470	3	2	2	3.5	5	5	0.196
P2	L1	C5	490	3	4	3	4.3	7	7	0.247
P2	L1	C6	550	5	7	4	5	9	9	0.294
P2	L2	C6	550	4	4	3	4.8	9	9	0.285
P2	L3	C6	550	3	2	2	4.5	7	7	0.256
P2	L1	C7	520	4	2	2	3.65	5	3	0.203
P2	L2	C7	520	3	2	2	2.9	3	4	0.155
P2	L3	C7	520	1	1	2	2.6	5	2	0.155
P2	L1	C8	510	5	4	3	5	6	6	0.272
P2	L3	C8	510	2	2	2	4	7	5	0.234

**Tabela 13. (nastavak 2) Vrednosti ulaza, izlaza i indeksi efikasnosti (Martinović & Savić, 2019)**

Projekat	Aktivnost Konsultant		Ulazi				Izlazi			Indeks efikasnosti
			CC	TR	RE	PR	CR	AR	AP	
P	L	C	$x_{1s}$	$x_{2s}$	$x_{3s}$	$x_{4s}$	$y_{1s}$	$y_{2s}$	$y_{3s}$	
P3	L1	C1	400	2	4	2	3	5	3	0.173
P3	L1	C2	450	3	5	2	3.25	5	7	0.185
P3	L1	C3	500	5	6	4	5	9	9	0.294
P3	L2	C3	500	4	3	4	5	9	9	0.294
P3	L3	C3	500	3	3	4	5	9	9	0.294
P3	L1	C4	470	3	2	2	3.5	5	5	0.196
P3	L1	C5	490	3	4	3	4.3	7	7	0.247
P3	L1	C6	550	5	7	4	5	9	9	0.294
P3	L2	C6	550	4	4	3	4.8	9	9	0.285
P3	L3	C6	550	3	2	2	4.5	7	7	0.256
P3	L1	C7	520	4	2	2	3.65	5	3	0.203
P3	L2	C7	520	3	2	2	2.9	3	4	0.155
P3	L3	C7	520	1	1	2	2.6	5	2	0.155
P3	L1	C8	510	5	4	3	5	6	6	0.272
P3	L3	C8	510	2	2	2	4	7	5	0.234

Vrednosti binarnih promenljivih koje pokazuju da li je šema izabrana ili ne su date u tabeli 14. Detaljna analiza plana pokazuje da je raspoređivanje izvršeno na fer način uzimajući u obzir ukupnu efikasnost sva tri projekta P1, P2 i P3. Konsultanti koji implementiraju projekte P2 i P3 su najefikasniji (0.948), dok se efikasnost implementacije projekta P1 razlikuje za 0.0167. Svi projekti se implementiraju sa prosečnim indeksom efikasnosti preko 0.93 što znači da nije bilo moguće napraviti efikasnu kombinaciju šema za sva tri projekta istovremeno. Očekivano je da se rezultati razlikuju u odnosu na rešenje problema kada se zahteva 4 konsultanta za realizaciju 3 aktivnosti jednog projekta. Optimalna kombinacija izbora 4 od 8 konsultanata dostiže nivo indeksa efikasnosti od čak 0.9986. U problemu sa tri projekta potrebno je izabrati 4 od 8 konsultanata za svaki projekat, a da se ne prekorači dozvoljeni broj radnih dana za svakog konsultanta. Broj kombinacija šema je veći ali je njihova ukupna efikasnost manja pošto se na neke

aktivnosti moraju rasporediti manje efikasni konsultatni da ne bi došlo do preopterećenja najefikasnijih konsultanata.

Na primer, samo 4 konsultanta (C3, C6, C7 i C8) mogu da budu raspoređeni na aktivnosti L2 i L3. Osnovni problem je kako ih rasporediti na 6 pozicija (T2 i T3 na P1, P2 i P3) a da se ne prekorači ograničenje broja radnih dana. Ovaj problem je rešen isključivanjem konsultanta C7 pošto ima najniži indeks efikasnosti (0.15-0.20 za različite aktivnosti) s obzirom da niske vrednosti izlaznih indikatora (CR, AR and AP) i visoku cenu rada (CC). Konsultant C3 će biti arhitekta rešenja (L2) na svim projektima, a konsultant C8 će biti na poziciji vođe projekta na dva projekta (P2 and P3).

**Tabela 14.** Plan rasporeda konsultanata 1 (Martinović & Savić, 2019)

Pozicija <i>L</i>	Konsultant <i>C</i>	Indeks efikasnosti konsultanta	Izabran $q_s$			Indeks efikasnosti			Vreme rada (broj dana)
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	
L1	C1	0.173	0	1	1	0.173	0.173		216
L1	C2	0.184	1	0	0	0.184			144
L1	C3	0.294	0	0	0				
L2	C3	0.294	1	1	1	0.294	0.294	0.294	180
L3	C3	0.294	0	0	0				
L1	C4	0.196	1	0	0	0.196			144
L1	C5	0.247	0	1	1	0.247	0.247		216
L1	C6	0.293	0	0	0				
L2	C6	0.284	0	0	0				144
L3	C6	0.256	1	0	0	0.2565			
L1	C7	0.203	0	0	0				
L2	C7	0.154	0	0	0				0
L3	C7	0.155	0	0	0				
L1	C8	0.272	0	0	0				
L3	C8	0.234	0	1	1	0.234	0.234		216
<b>Efikasnost na projektu</b>						0.932	0.948	0.948	<b>Max=228</b>
<b>Ukupni indeks efikasnosti</b>						0.943			

**Tabela 15.** Plan rasporeda konsultanata 2 (Martinović & Savić, 2019)

<i>L</i>	<i>C</i>	Indeks efikasnosti konsultanta (5.2-1/5.2-2)	Izabran $q_s$ (5.2-1/5.2-2)			Indeks efikasnosti projekta (5.2-1/5.2-2)			Vreme rada (broj dana) (5.2-1/5.2-2)
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	
L1	C1	0.166/0.165			1/0			0.166/0	96/0
L1	C2	0.175/0.176	1/1			0.175/0.176		6	144/144
L1	C3	0.285/0.278							
L2	C3	0.285/0.278			1/0		0/0.278	0.285/0	
L3	C3	0.285/0.278	1/1			0.285/0.278		8	192/204
L1	C4	0.184/0.187	1/1			0.184/0.187		7	144/144
L1	C5	0.237/0.235			0/1		0.237/0.235	0/0.235	120/216
L1	C6	0.285/0.278							
L2	C6	0.278/0.269	1/10	1/0		0.278/0.269		9	0.287/0
L3	C6	0.244/0.244			1/1			0.244/0.244	228/168
L1	C7	0.190/0.194		1/1			0.190/0.194		
L2	C7	0.139/0.149			0/1			0/0.149	
L3	C7	0.152/0.146							120/168
L1	C8	0.250/0.261			1/1			0.250/0.261	
L3	C8	0.226/0.221		1/1			0.226/0.221		216/216
<b>Efikasnost na projektu</b>						0.923/0.910	0.930/0.928	0.945/0.889	<b>Max=228</b>
<b>Ukupni indeks efikasnosti</b>						0.943			

Konsultant C6 je dodeljen projektu P1 kao vođa projekta. Pozicije konsultanata su popunjene od strane raspoloživih konsultanata C1, C2, C4 i C5 uzimajući u obzir preostali raspoloživi broj radnih dana. Najopterećeniji konsultanti će biti C1, C5 i C8 sa 216 radnih dana a ostali raspoređeni konsultanti će raditi 180 (C3) i 144 (C2, C4 i C6) radna dana.

Moguće je takođe proširiti model (4.33-4.44) uvodeći ograničenje 5.2 koje obezbeđuje da konsultant može biti angažovan na istoj poziciji na najviše  $N$  projekata.



$$\sum_{s \in S_{lc} \subset S} q_s \leq N, l \in L, c \in C \quad (5.2)$$

Dopustivost rešenja je uslovljena sledećim ograničenjem: potrebno je da postoji na raspolaganju bar onoliko konsultanata koji mogu da realizuju određenu poziciju koliko ih je ukupno zahtevano na svim projektima, odnosno broj šema koji uključuje određenu kombinaciju konsultant-aktivnost mora biti veći ili jednak ukupnom broju koji se zahteva

$$\text{na svim projektima } \left( |S_l| = \sum_{\forall p \in P} U_{lp}, \forall l \in L, S_l \in S \right).$$

Model (4.33-4.44, 5.1, 5.2) će biti rešavan u realnim situacijama kada:

1. konsultant može biti vođa samo jednog projekta;
2. konsultant može biti vođa za samo jedan projekat i arhitekta rešenja za samo jedan projekat.

Za aktivnost L1 potrebno je 6, a raspoloživo 8 konsultanata, za aktivnost L2 potrebno je 3 i raspoloživo 3 konsultanta. Na kraju, za aktivnost L3 potrebno je 3, a raspoloživo 4 konsultanta. Prema tome, moguće je pronaći dopustivo rešenje sa dodatnim ograničenjem. Uvođenje dodatnih ograničenja uzrokuje smanjenje ukupne efikasnosti realizacije projekata iako je rang konsultanta pri realizaciji određenih aktivnosti ostao isti. Prikaz rezultata je dat u tabeli 15. Prva vrednost promenljivih i funkcije cilja je dobijena rešavanjem modela (4.33-4.44, 5.1, 5.2-1), a druga rešavanjem modela (4.33-4.44, 5.1, 5.2-2). Sada je ponovo najneefikasniji konsultant C7, ali ga je nemoguće isključiti iz plana raspodele pošto bi u tom slučaju ostala ograničenja za broj pozicija i broj radnih dana bila prekoračena. Konsultant C7 će biti raspoređen na aktivnost L1 na projektu P2 i aktivnost L2 na projektu P3, što je uzrok smanjenja ukupne efikasnosti (0.9426/0.9329/0.9092). Opterećenje konsultanata takođe varira u poređenju sa rezultatima datim u tabeli 13. Najopterećeniji su konsultanti C6, C8 i C3 iako nisu najefikasniji.

## 6. Zaključak

Kompanije koje se bave konsultantskim uslugama u oblasti informacionih tehnologija i istraživanja i razvoja su najčešće projektno orijentisane. To znači da one svoje poslove realizuju tako što ih dele na projekte kojima se dodeljuju timovi za realizaciju (Brucker et al., 2011). U praksi ove kompanije često istovremeno realizuju više projekata sa različitim aktivnostima i neophodno je formirati timove konsultanata koji poseduju određeni nivo različitih veština i kvalifikacija za realizaciju zahtevanih aktivnosti. Formiranje efikasnog tima konsultanata (najbolji konsultant u pravoj ulozi na konkretnom projektu) je veoma složen višekriterijumski problem koji se rešava u višeprojektom okruženju (Certa et al., 2009). U ovoj disertaciji su predloženi modeli za rešavanje problema izbora jednog konsultanta koji će realizovati jednu aktivnost projekta, izbora konsultanata koji će biti angažovani za realizaciju više aktivnosti jednog projekta i izbora više konsultanata za realizaciju više aktivnosti na više projekata. Za rešavanje definisanih problema predloženi su modeli mešovitog celobrojnog (binarnog) linearnog programiranja koji predstavljaju modifikaciju DEA modela. Kao što je već rečeno, DEA je neparametarska tehnika (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978) koja uzima u obzir više kriterijuma i kreira indeks relativne efikasnosti jedinica u posmatranom skupu. Relativna ocena DEA efikasnosti je objektivna i zasnovana na podacima koji su uključeni u analizu. Prema tome u prvoj, pripremnoj fazi primene modela vrši se selekcija ključnih indikatora performansi, koji će služiti kao kriterijumi za ocenu efikasnosti, i određuje na koji način su definisane jedinice o kojima se odlučuje. Pri oceni performansi konsultanata korišćeni su ključni indikatori performansi koji su posmatrani kao ulazni kriterijumi, ako se odnose na ulaganje u razvoj znanja i veština konsultanta, ili kao izlazni kriterijumi ako se odnose na dostignuća posmatranog konsultanta. Predloženi modeli omogućavaju istovremeno raspoređivanje konsultanata i kreiranje jedinstvene ocene performansi.

U slučaju rešavanja problema izbora jednog konsultanta, jedinica o kojoj se odlučuje je upravo konsultant, pošto se izbor vrši upravo na osnovu uporedne analize

efikasnosti svih raspoloživih konsultanta. Studija slučaja odgovara modelu selekcije konsultanata na osnovu DEA modela sa uključenim ograničenjima tipa “ekskluzivno ili” kojim se smanjuje broj kriterijuma uključenih u ocenu indeksa efikasnosti. Pri tome se zadržava fleksibilnost DEA modela tako što se svakom konsultantu omogućava da bira jedan od dva alternativna kriterijuma koju mu više odgovara i koji će ga prikazati u najboljem svetlu.

U slučaju raspoređivanja više konsultanata na više aktivnosti, kreiraju se šeme konsultant-aktivnost koje predstavljaju jedinice o kojima se odlučuje. Ove šeme se međusobno porede prema indeksu efikasnosti pošto se podaci o ključnim indikatorima performansi jednog konsultanta mogu razlikovati za dve ili više aktivnosti, odnosno konsultant poseduje različite nivoe znanja i veština za implementaciju različitih aktivnosti. Predložen je modifikovani DEA model mešovitog celobrojnog (binarnog) linearnog programiranja za izbor konsultanata i njihovog raspoređivanja na odgovarajuće aktivnosti uzimajući u obzir raspoloživo radno vreme. Model se zasniva na modifikaciji DEA modela i pretpostavkama generalizovanog modela raspoređivanja (Burkard, Dell’Amico i Martello, 2012) gde je broj aktivnosti manji od broja raspoloživih konsultanata.

Analogno, u slučaju rešavanja problema raspoređivanja više konsultanata na više aktivnosti na više projekata, kreiraju se šeme projekat-konsultant-aktivnost koje predstavljaju jedinice o kojima se odlučuje. Ove šeme se međusobno porede prema indeksu efikasnosti dobijenom na osnovu podataka o ključnim indikatorima performansi konsultanta koji realizuje određenu aktivnost. Kreirani modeli za rešavanje ovog problema predstavljaju proširenje modela za raspoređivanje konsultanata na više aktivnosti jednog projekta. U ovom slučaju, broj konsultanata može biti manji od broja projekata ali se oni mogu rasporediti na različite aktivnosti na više projekata uzimajući u obzir raspoloživi broj radnih dana. Rešavanje predloženog modela za ovaj slučaj je najsloženije, a podjednak nivo efikasnosti konsultanta na istim aktivnostima različitih projekata pokazuje da je moguće kreirati više rešenja sa istom vrednošću funkcije cilja (maksimalna ukupna efikasnost realizacije svih projekata).

## Doprinosi i hipoteze istraživanja

Osnovni doprinos ove disertacije predstavlja upravo predložena metodologija razvoja modifikovanih DEA modela mešovitog celobrojnog programiranja. Predloženi modeli, koji uključuju pretpostavke DEA modela i modela raspoređivanja, pomažu da se višekriterijumske odluke donose ne samo na osnovu procene donosilaca odluke već i na osnovu optimalnih rešenja dobijenih primenom predloženih modela. Odnosno, odluke se mogu donositi na osnovu jedinstvene ocene efikasnosti zasnovane na istorijskim podacima.

Uobičajeno, DEA se primenjuje sledeći utvrđenu proceduru. Prvi korak je da se definiše skup jedinica o kojima se odlučuje (DMU), a zatim izaberu adekvatni ulazi i izlazi kao kriterijumi od značaja za ocenu efikasnosti. Ali pri rešavanju praktičnih problema, izbor relevantnih kriterijuma nije jednostavan zadatak, a posebno ukoliko postoje parovi kriterijuma koji imaju sličan značaj. Razvijeni modifikovani DEA model sa ograničenjima tipa “ekskluzivno ili” rešava problem izbora relevantnih kriterijuma za svaku jedinicu o kojoj se odlučuje.

Sledeći doprinos se odnosi na razvoj modifikovanih DEA modela mešovitog celobrojnog programiranja u cilju pronalaženja optimalnog rasporeda konsultanata na sve aktivnosti na jedan ili više projekata, koji se realizuju simultano. Problem je kombinatorni, s obzirom da svaki konsultant može da bude raspoređen na više pozicija na jednom ili više projekata. Pored toga, modifikovani DEA modeli obezbeđuju efikasnu realizaciju svih projekata u određenom vremenu i okvirima ugovorenog budžeta, uz ograničenje radnog vremena, maksimalno ispunjavajući zadate ključne indikatore performansi (KPI) svakog konsultanta.

Dakle, doprinos ostvaren ovim radom se ogleda u sistematizaciji postojećeg znanja u oblasti istraživanja, u kritičkoj analizi pregleda postojeće literature i istraživanja i predlaganju metodologije kojom se unapređuju modeli optimalne selekcije i raspoređivanja konsultanata na aktivnosti projekata.

Primenljivost modela je prikazana kroz praktične primene na realnim primerima različitih dimenzija u sektoru informacionih tehnologija. Međutim, modeli se mogu lako

adaptirati za primene u drugim oblastima ako se u prvoj fazi odrede odgovarajući indikatori performansi kao kriterijumi za ocenu efikasnosti i izaberu odgovarajuće jedinice o kojima se odlučuje. Takođe, na primeru najsloženijeg modela za izbor i raspoređivanje više konsultanata na više aktivnosti na više projekata pokazano je da se modeli mogu lako modifikovati i prilagoditi realnim zahtevima, uvođenjem dopunskih ograničenja.

Dakle, opšta hipoteza koja kaže da je primenom modifikovanih modela ocene efikasnosti i optimalnog raspoređivanja konsultanata na projekte, moguće unaprediti donošenje odluka o timu koji će efikasno realizovati projekte, je dokazana uspešnom primenom na primerima iz prakse. Posebne hipoteze su takođe dokazane. Primena modifikovanog DEA modela je korisna za procenu relativne efikasnosti konsultanata na osnovu rezultata postignutih na prethodnim projektima. Modifikovani DEA model se može uspešno primeniti za ocenu efikasnosti malog broja konsultanata, bez obzira na veliki broj kriterijuma (ulaza i izlaza) ukoliko se u model uvedu ograničenja koja poštuju strogu ekskluzivnost alternativnih kriterijuma. Postojeći modeli izbora i raspoređivanja konsultanata na projekte su unapređeni uvođenjem principa ocene efikasnosti na osnovu više kriterijuma. Raspoređivanje konsultanata prema kriterijumu efikasnosti je moguće pomoću kvantitativnih modifikovanih DEA modela mešovitog celobrojnog programiranja. Prema tome, zajedničkim korišćenjem modela DEA i raspoređivanja prevazilaze se nedostaci pojedinačne i nezavisne primene svakog od ovih koncepata.

### **Pravci daljeg istraživanja**

Predloženi modeli ne pokrivaju vremensku dinamiku realizacije projekata. Vremenska dimenzija bi mogla biti uključena u modele uvođenjem promenljive za raspoloživost svakog konsultanta kao razlike između maksimalnog broja radnih dana godišnje i broja angažovanih radnih dana (Bassett, 2000; Greiner & Ennsfellner, 2010).

Drugi pravac istraživanja se odnosi na metode rešavanja problema velikih dimenzija sa velikim brojem binarnih promenljivih. Kao što je pokazano na primeru eksperimenata sa primerima različitih dimenzija pri izboru konsultanata na više aktivnosti jednog projekta, vreme izvršavanja raste sa porastom dimenzija problema. Problem raspoređivanja konsultanata u višeprojektom okruženju je kompleksniji i zahtevao bi

više vremena za egzaktno rešavanje predloženog modela većih dimenzija. Problem izbora konsultanata bi mogao da se posmatra kao problem težinskog maksimalnog pokrivanja skupova (Du, Ko & Hu, 2012) odnosno pokrivanja svake pozicije od strane odgovarajućeg konsultanta gde bi se kao težine posmatrali indeksi relativne efikasnosti konsultanata pri realizaciji aktivnosti za koje je kvalifikovan. To je problem nepolinomijalne složenosti, čija složenost raste sa porastom dimenzija problema. Potencijalno rešenje bi bio razvoj konstruktivnih heuristika (Sapkota & Reilly, 2011). Jedan od pravaca bi mogao biti razvoj heuristika zasnovanih na principima proždrljivih algoritma (Franceschini et al., 2007, page 142-152) slično kao kod sinteze indikatora performansi sa ciljem da se odredi minimalan broj indikatora koji pokriva sve definisane ciljeve sa maksimalnim efektima.

## 7. Literatura

1. Adler, N., Friedman, L., & Sinuan, Z. (2002). Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research*, 140, 249–265.
2. Amirteimoori, A., & Emrouznejad, A. (2012). Optimal input/output reduction in production processes, *Decision Support Systems*, 52, 742-747.
3. Amirteimoori, A., & Tabar, M.M. (2010). Resource Allocation and target setting in Data Envelopment Analysis. *Expert System with Application*, 37(4), 3036–3039.
4. Anderson, G., Nilson, C.D., Rhodes, T., Kakade, S., Jenzer, A., King, B., & Hillary, H. (2009). *SAP Implementation Unleashed: A Business and Technical Roadmap to Deploying SAP*. Sams Publishing.
5. Andersen, P., & Petersen, N.C. (1993). A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39(10), 1261–4.
6. Asmild, M., Paradi, J.C., & Pastor, J.T. (2009). Centralized resource allocation BCC models. *Omega*, 37(1), 40–49.
7. Athanassopoulos, A.D. (1998). Decision support fortarget-based resource allocation of public service in multi unit and multi level systems. *Management Science*, 44(2), 173–187.
8. Athanassopoulos, A.D. (1995). Goal programming and data envelopment analysis (GoDEA) fortarget-based multi-levelplanning: Allocating central grants to the Greek local authorities. *European Journal of Operational Research*, 87(3), 535–550.
9. Azadi, M., & Saen R.F. (2012). Developing a new chance-constrained DEA model for suppliers’s selection. *International Journal of Operational Research*, 13(1), 44-66.
10. Banker, R.D., & Chang, H. (2006). The super-efficiency procedure for outlier identification, not for ranking efficient units. *European Journal of Operational Research*, 175, 1311–1320.
11. Banker, R.D., & Morey, R. (1986a). Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs. *Operations Research*, 34(4), 513–521.
12. Banker, R.D., & Morey, R. (1986b). The use of categorical variables in data envelopment analysis. *Management Science*, 32(12), 1613–1627.

13. Banker, R.D., Charnes, A., & Cooper, W.W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Sciences*, 30, 1078–1092.
14. Bassett M. (2000). Assigning projects to optimize the utilization of employees' time and expertise. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2-7), 1013–1021.
15. Beasley, J. (2003). Allocating fixed costs and resources via data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 147(1), 198–216.
16. Bernini, C., Guizzardi, A., & Angelini, G. (2013). DEA-like model and common weights approach for the construction of a subjective community well-being indicator. *Social indicators research*, 114(2), 405–424.
17. Bertsimas, D., Gupta, S., & Lulli, G. (2014). Dynamic resource allocation: A flexible and tractable modeling framework. *European Journal of Operational Research*, 236(1), 14–26.
18. Brucker, P., Qu, R., & Burke, E. (2011). Personnel scheduling: Models and complexity. *European Journal of Operational Research*, 210(3), 467-473.
19. Burkard R., Dell'Amico M., & Martello S. (2012). *Assignment Problems*. SIAM, Philadelphia, ISBN 978-0-898716-63.
20. Cao Q., & Hoffman, J.J. (2011). A case study approach for developing a project performance evaluation system. *International Journal of Project Management*, 29(2), 155–164.
21. Chang, J.Y., Wang, E.T., Jiang, J.J., & Klein, G. (2013). Controlling ERP consultants: Client and provider practices. *Journal of Systems and Software*, 86(5), 1453–1461.
22. Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
23. Chen, Y. (2004). Ranking efficient units in DEA. *Omega*, 32, 213–219.
24. Chiang, T.A., & Che, Z.H. (2010). A fuzzy robust evaluation model for selecting and ranking NDP projects using Bayesian belief network and weight-restricted DEA. *Expert Systems with Applications*, 37, 7408–7418.
25. Chow, L.K., & Ng, T.S. (2007). A fuzzy gap analysis model for evaluating the performance of engineering consultants, *Automation in Construction*, 16, 425–435.



26. Chow, L.K., & Ng, T.S. (2004). A framework for evaluating the performance of engineering consultants in Hong Kong. *Proceedings: 3rd Scientific Conference on Project Management – Clustering in Construction Project Management*, September 24-25, Thessaloniki, Greece, 231–238.
27. Certa, A., Enea, M., Galante, G., & Manuela La Fata, C. (2009). Multi-objective human resources allocation in R&D projects planning. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3503-3523.
28. Cohen R., Katzir L., Raz D., (2006). An Efficient Approximation for the Generalized Assignment Problem. *Information Processing Letters*, 100(4), 162–166.
29. Collins, A.J., Hester, P., Ezell, B., & Horst, J. (2016). An improvement selection methodology for key performance indicators. *Environment Systems and Decisions*, 36(2), 196-208.
30. Cook, W.D., Tone, K., & Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44, 1–4.
31. Cook, W.D., & Seiford, L. (2009). Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, 192(1), 1–17.
32. Cook, W.D., Liang, L., Zha, Y., & Zhu, J. (2008). A modified super-efficiency DEA model for infeasibility. *Journal of the Operational Research*, 60(2), 276–281.
33. Cook, W.D., & Zhu, J. (2006). Incorporating multi process performance standards into the DEA framework. *Operations Research*, 54, 656–665.
34. Cook, W.D., & Zhu, J. (2005). Allocation of shared costs among decision making units: A DEA approach. *Computers and Operations Research*, 32(8), 2171–2178.
35. Cook, W.D., & Green, R.H. (2000). Project prioritization: a resource-constrained data envelopment analysis approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(2), 85-99.
36. Cook, W.D., & Kress, M. (1999). Characterizing an equitable allocation of shared costs: A DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 119(3), 652–661.
37. Cooper, W.W., Seiford, L. M., & Tone, K., (2000). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers: Boston.

38. Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. Springer Science & Business Media.
39. Crhistofides, N., & Korman, S. (1975). A computational survey of methods for the set covering problem, *Management Science*, 21, 591–599.
40. Čupić, M., Tummala, V., & Suknović, M. (2003). Odlučivanje: formalni pristup. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
41. Dantzig G.B. (1954). Letter to the Editor—A Comment on Edie’s “Traffic Delays at TollBooths”. *Operations Research*, 2, 339–341.
42. Darehmiraki, M., & Behdani, Z. (2013). A new DEA approach to rank alternatives in MCDA. *Journal of Data Envelopment Analysis and Decision Science*, 1–7.
43. Defersha, F.M., Salam, A., & Bhuizan, N. (2012). A new approach for product cost estimation using data envelopment analysis. *International Journal of Industrial Engineering Computation*, 3, 817–828.
44. Despotis, D. K. (2005). A reassessment of the human development index via data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 969–980.
45. Doyle, J., & Green, R. (1994). Efficiency and Cross-Efficiency in DEA: Derivations, Meanings and Uses. *The Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 567–578.
46. Du, J., Cook, W.D., Liang, L., & Zhu, J. (2014). Fixed cost and resource allocation based on DEA cross-efficiency. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 206–214.
47. Du, J., Liang, L., Chen, Y., & Bi, G. (2010). DEA-based production planning. *Omega*, 38(1-2), 105–112.
48. Du, D. Z., Ko, K. I., & Hu, X. (2011). Design and analysis of approximation algorithms (Vol. 62). Springer Science & Business Media.
49. Edie C. (1954). Traffic delays at toll booths. *Operations Research* 2, 107–138.
50. E Silva, L.C., & Costa, A.P.C.S. (2013). Decision model for allocating human resources in information system projects. *International Journal of Project Management*, 31(1), 100–108.
51. Efron, B. (1987). Better bootstrap confidence intervals. *Journal of the American Statistical Association*, 82(397), 171-185.

52. Emrouznejad, A., Banker, R., Ahn, H., & Afsharian, M. (2016). Data Envelopment Analysis and its Applications. In Proceedings of the 13th International Conference of DEA (p. 5).
53. Emrouznejad, A., & Yang G-L, (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016, *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4-8, <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>.
54. Engwall, M., & Jerbrant, A. (2003). The resource allocation syndrome: the prime challenge of multi-project management? *International journal of project management*, 21(6), 403–409.
55. Fang, L. (2013). A generalized DEA model for centralized resource allocation. *European Journal of Operational Research*, 228(2), 405–412.
56. Fang, L., & Li, H. (2013). A comment on ‘Solving the puzzles of structural efficiency’. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 444–446.
57. Fang, L., & Zhang, C.Q. (2008). Resource allocation based on the DEA model. *Journal of the operational Research Society*, 59(8), 1136–1141.
58. Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of Royal Statistical Society, Series A*, 120(3), 253–290.
59. Fatemi Ghomi, S.M.T., & Ashjari, B. (2002). A simulation model for multi-project resource allocation. *International Journal of Project Management*, 20(2), 127–130.
60. Franceschini, F., Galetto, M., & Maisano, D. (2007). *Management by measurement: Designing key indicators and performance measurement systems*. Springer Science & Business Media
61. Foroughi, A.A. (2011). A new mixed integer linear model for selecting the best decision-making units in data envelopment analysis. *Computers and Industrial Engineering*, 60(4), 550–554.
62. Fu, H.P., & Ou, J.R., (2013). Combining PCA with DEA to improve the evaluation of project performance data: a Taiwanese Bureau of Energy case study. *Project Management Journal*, 44(1), 94-106.
63. Fuentes, R., Fuster, B., & Lillo-Bañuls, A. (2016). A three-stage DEA model to evaluate learning-teaching technical efficiency: Key performance indicators and contextual variables. *Expert Systems with Applications*, 48, 89-99.

64. Ghapanchi, A.H., Tavana, M., Khakbaz, M.H., & Low, G. (2012). A methodology for selecting portfolios of projects with interactions and under uncertainty. *International Journal of Project Management*, 30(7), 791–803.
65. Gholami, K., & Beigi, Z.G. (2013). Allocating the Fixed Resources and Setting Targets in Integer Data Envelopment Analysis. *Journal of Data Envelopment Analysis and Decision Science*, 2013, 1–12.
66. Givoly, D., Li, Y., Lourie, B., & Nekrasov, A. (2017). Information Content of Key Performance Indicators and the Properties of Their Analyst Forecasts.
67. Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237–250.
68. Görög, M. (2016). A broader approach to organisational project management maturity assessment. *International Journal of Project Management*, 34(8), 1658-1669.
69. Greiner, L., & Ennsfellner, I. (2010). Management consultants as professionals, or are they? *Organizational Dynamics*, 39(1), 72–83.
70. Guan, J., & Chen, K., (2012). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, 41(1), 102-115
71. Gutjahr, W. J., Katzensteiner, S., Reiter, P., Stummer, C., & Denk, M. (2008). Competence-driven project portfolio selection, scheduling and staff assignment. *Central European Journal of Operations Research*, 16(3), 281-306.
72. Hadad, Y., Keren, B., & Laslo Z. (2013). A decision-making support system module for project manager according to past performance, *International Journal of Project Management*, 31(4), 532–541.
73. Hadi-Vencheh, A., Ghelej Beigi, Z., & Gholami, K. (2014). On the input/output reduction in efficiency measurement. *Measurement*, 50, 244–249.
74. Hassan, N., Tabar, M.M., & Shabanzade, P. (2010). A ranking model of data envelopment analysis as a centralized multi objective resource allocation problem tool. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences (AJBAS)*, 4(10), 5306–5313.
75. Hatami-Marbini, A., Tavana, M., Agrell, P.J., Lotfi, F.H., & Beigi, Z.G. (2015). A common-weights DEA model for centralized resource reduction and target setting. *Computers & Industrial Engineering*, 79, 195–203.

76. Hazır, Ö. (2015). A review of analytical models, approaches and decision support tools in project monitoring and control. *International Journal of Project Management*, 33(4), 808–815.
77. Hendriks, M.H.A., Voeten, B., & Kroep, L. (1999). Human resource allocation in a multi-project R&D environment: resource capacity allocation and project portfolio planning in practice. *International Journal of Project Management*, 17(3), 181–188.
78. Hsu, S.C., Weng, K.W., Cui, Q., & Rand, W. (2016). Understanding the complexity of project team member selection through agent-based modeling. *International Journal of Project Management*, 34(1), 82-93.
79. Iyer, K.C., & Banerjee, P.S. (2016). Measuring and benchmarking managerial efficiency of project execution schedule performance. *International Journal of Project Management*, 34(2), pp.219-236.
80. Jablonski, J. (2012). Multicriteria approaches for ranking of efficient units in DEA models. *Central European Journal of Operations Research*, 20(3), 435–449.
81. Jahangirian, M., Taylor, S.J., Young, T., & Robinson, S. (2017). Key performance indicators for successful simulation projects. *Journal of the Operational Research Society*, 68(7), 747-765.
82. Jahanshahloo, G. R., Memariani, A., Lotfi, F. H., & Rezai, H. Z. (2005). A note on some of DEA models and finding efficiency and complete ranking using common set of weights. *Applied mathematics and computation*, 166(2), 265-281.
83. Jahantighi, M., Moghaddas, Z., & VaezGhasemi, M. (2015). Project selection with limited resources in data envelopment analysis. *International Journal of Industrial Mathematics*, 7(1), 71-76.
84. Jahansahahloo, G. R., Memariani, A., Hosseinzadeh Lofti, F., & Rezai, H. Z. (2005). A note on some of DEA models and finding efficiency and complete ranking using common set of weights. *Applied Mathematics and Computation*, 166, 265–281.
85. Karam, A., Attia, E. A., & Duquenne, P. (2017). A MILP model for an integrated project scheduling and multi-skilled workforce allocation with flexible working hours. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 13964-13969.
86. Kazemi Matin, R., & Kuosmanen, T. (2009). Theory of integer-valued data envelopment analysis under alternative returns to scale axioms. *Omega*, 37(5), 988–995.

87. Keke Bi, Wei Peng, Nan Zhao, & Jiang Sun (2015). Research on Resources Allocation Mechanism of Manufacturing Enterprises Base on Multi-level Programming. Conference: 2015 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering, DOI: 10.2991/meic-15.2015.166.ISBN: 978-94-62520-62-2; ISSN: 2352-5401.
88. Keren, B., Hadad, Y., & Laslo Z. (2014). Combining AHP and DEA Methods for Selecting a Project Manager, *Management*, 71, 17–28.
89. Khalili-Damghani, K., Sadi-Nezhad, S., Lotfi, F.H., & Tavana, M. (2013). A hybrid fuzzy rule-based multi-criteria framework for sustainable project portfolio selection. *Information Sciences*, 220, 442–462.
90. Korhonen, P., & Syrjänen, M. (2004). Resource allocation based on efficiency analysis. *Management Science*, 50(8), 1134–1144.
91. Krčevinac, S., Čangalović, M., Kovačević Vujčić, V., Matrić, M., & Vujošević, M. (2004). *Operaciona istraživanja*. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
92. Kroeger, K., Mcguire, T., Morris, S., & Nikolaev, I. (2012). Method and system for allocation of resources in a project portfolio. U.S. Patent No. 8,214,240. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
93. Kuosmanen, T., & Kazemi Matin, R. (2009). Theory of integer-valued data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 658–667.
94. Land, A. H., Doig, A. G. (1960). An automatic method of solving discrete programming problems, *Econometrica*, 28, 497–520.
95. Laslo, Z. (2010). Project portfolio management: An integrated method for resource planning and scheduling to minimize planning/scheduling-dependent expenses. *International Journal of Project Management*, 28(6), 609–618.
96. Laslo, Z., & Goldberg, A. I. (2008). Resource allocation under uncertainty in a multi-project matrix environment: Is organizational conflict inevitable? *International Journal of Project Management*, 26(8), 773–788.
97. Li, Y., Yang, F., Liang, L., & Hua, Z. (2009). Allocating the fixed cost as a complement of other cost inputs: A DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 389–401.
98. Li, S.K., & Cheng, Y.S. (2007). Solving the puzzles of structural efficiency. *European Journal of Operational Research*, 180(2), 713–722.

99. Lin, R. (2011). Allocating fixed cost or resources and setting targets via data envelopment analysis. *Applied Mathematics and Computation*, 217(13), 6349–6358.
100. Lin, H.T. (2010). Personnel selection using analytic network process and fuzzy data envelopment analysis approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 937–944.
101. Liu, J.S., Lu, L.Y.Y., & Lu, W.M. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. *Omega*, 58, 33–45.
102. Liu, W.H., & Cross, J.A. (2016). A comprehensive model of project team technical performance. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1150–1166.
103. Liu, J.S., Lu, L.Y.Y., Lu, W.M., & Lin, B.J. (2013). A survey of DEA applications. *Omega*, 41(5), 893–902.
104. Locatelli, G., Mariani, G., Sainati, T., & Greco, M. (2016). Corruption in public projects and megaprojects: There is an elephant in the room! *INT J PROJ MANAG*, 35(3), 252–268.
105. Lombardi, M., & Milano, M. (2012). Optimal methods for resource allocation and scheduling: a cross-disciplinary survey. *Constraints*, 17(1), 51–85.
106. López-Torres, L., & Prior, D. (2016). Centralized allocation of human resources. An application to public schools. *Computers & Operations Research*, 73, 104–114.
107. Lotfi, F.H., Hatami-Marbini, A., Agrell, P.J., Aghayi, N., & Gholami, K. (2013). Allocating fixed resources and setting targets using a common-weights DEA approach. *Computers & Industrial Engineering*, 64(2), 631–640.
108. Lotfi, F.H., Noora, A.A., Jahanshahloo, G. E., & Reshadi, M. (2011). One DEA ranking method based on applying aggregate units. *Expert Systems with Applications*, 38, 13468–13471.
109. Lotfi, F.H., & Shirouyehzad, H. (2010). Analyzing Efficiency of Human Resource Performance Using Data Envelopment Analysis. 1<sup>st</sup> Conference on executive MBA, 2010, 12.
110. Lova, A., Maroto, C., & Tormos, P. (2000). A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*, 127(2), 408–424.

111. Lozano, S., & Villa, G. (2009). Multiobjective target setting in data envelopment analysis using AHP. *Computers & Operations Research*, 36, 549–564.
112. Lozano S., & Villa G. (2007). Integer DEA Models. In: Zhu J., Cook W.D. (eds) *Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis*. Springer, Boston, MA, 271–289.
113. Lozano, S., & Villa, G. (2006). Data envelopment analysis of integer-valued inputs and outputs. *Computers & Operations Research*, 33(10), 3004–3014.
114. Lozano, S., & Villa, G. (2004). Centralized Resource Allocation Using Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 22 (1-2), 143–161.
115. Manoharan, T.R., Muralidharan, C., & Deshmukh, S. G. (2009). Employee Performance Appraisal Using Data Envelopment Analysis: A Case Study. *Research & Practice in Human Resource Management*, 17(1), 92–110.
116. Mar-Molinero, C., Prior, D., Segovia, M.M., & Portillo, F. (2014). On centralized resource utilization and its reallocation by using DEA. *Annals of Operations Research*, 221(1), 273–283.
117. Martić, M. (1999). *Analiza obavijenih podataka sa primenama*. Doktorska disertacija. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
118. Martinez, M.M. (2009). *SAP Training Tutorials: SAP Introduction and Basic Skills Handbook*, SAP COOKBOOK Training Tutorials SAP Introduction and Basic Skills.
119. Martinović, N., & Delibašić, B. (2013). Selection of the best consultant for SAP ERP project using combined AHP-IBA approach, BALCOR 2013 - XI Balcan Conference on Operational Research Proceedings, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 683–692.
120. Martinović, N., & Savić, G. (2019). Staff Assignment to Multiple Projects Based on DEA Efficiency. *Engineering Economics*, 30(2), 163-172. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.30.2.20272>
121. Martinović, N., & Savić, G. (2015). Selection of the project consultants based on DEA efficiency. 34th International Conference on Organizational Science Development. Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor, Portorož, Slovenia, INTERNATIONALIZATION AND COOPERATION (ISBN 978-961-232-283-0), 148–160.



122. Munkres, J. (1957). Algorithms for the Assignment and Transportation Problems". *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 5(1), 32–38.
123. Nagpal, S., Kumar, A., & Khatri, S.K. (2018). Relative importance of CSF in ERP implementation strategy: a multi-participant AHP approach. *International Journal of Business Information Systems*, 27(1), 105-122.
124. Nesheim, T., & Hunskaar, H.M. (2015). When employees and external consultants work together on projects: Challenges of knowledge sharing. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1417-1424.
125. Patanakul, P., (2015). Key attributes of effectiveness in managing project portfolio. *International Journal of Project Management*, 33(5), 1084–1097.
126. Pentico, D.W. (2007). Assignment problems: A golden anniversary survey. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 774-793.
127. Perez, F., & Gomez, T. (2016). Multiobjective project portfolio selection with fuzzy constraints. *Annals of Operations Research*, 245(1-2), 7-29.
128. Podinovski, V.V. (2007). Computation of efficient targets in DEA models with production trade-offs and weight restrictions. *European Journal of Operational Research*, 181, 586–591.
129. Popović, G. (2006). Ocena efikasnosti kreditnih programa pomoću analize obavljanja podataka. Magistarski rad. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
130. Project Management Institute (2017). A GUIDE TO THE PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE (PMBOK® GUIDE) – Sixth Edition. Newtown Square, PA: Project Management Institute. (First available guide version: PMBOK® GUIDE 1st Edition 1996)
131. Radojević, D. (2006). Interpolative realization of Boolean algebra, *Proceedings of the NEUREL 2006, Neural Network Applications in Electrical Engineering*.
132. Radojicic, M., Savic, G., & Jeremic, V. (2018). Measuring the efficiency of banks: the bootstrapped I-distance GAR DEA approach. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(4), 1581-1605.
133. Sapkota, N., & Reilly, C.H. (2011). Simulating realistic set covering problems with known optimal solutions, *Computers & Industrial Engineering*, 61(1), 39-47.
134. Sarrico, A. S., & Dyson, R. (2004). Restricting virtual weights in data envelopment an. *European Journal of Operational Research*, 159, 17–34.

- 135.Savić, G., Kuzmanović, M., & Martinović, N. (2017). Mixed-integer Programming DEA-based Efficiency Evaluation and Selection, Book of Abstracts: 4th International Conference on Optimization Methods and Software 2017, 16-20-12-2017, Habana, Cuba.
- 136.Savić, G., Dragojlović, A., Vujošević, M., Arsić, M., & Martić, M. (2015). Impact of the efficiency of the tax administration on tax evasion, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 1138-1148, DOI: 10.1080/1331677X.2015.1100838
- 137.Savić, G. (2012). Komparativna analiza efikasnosti u finansijskom sektoru. Doktorska disertacija. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
- 138.Schlamp, S., & Fecker, L. (2002). Data Envelopment Analysis as a Tool for Management Consulting, scholar.google.com, [http://www.ifd.mavt.ethz.ch/research/group\\_tr/projects/proj\\_schlamp/PDFs/dea.pdf](http://www.ifd.mavt.ethz.ch/research/group_tr/projects/proj_schlamp/PDFs/dea.pdf), July 30rd 2014, 23:15 PM
- 139.Seiford, L., & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142, 16–20.
- 140.Shirouyehzad, H., & Dabestani, R. (2011). A DEA Approach for Analyzing Efficiency of Projects Based on Service Quality. 2nd International Conference on Construction and Project Management (IPEDR), vol.15, Singapore
- 141.Stingl, V., & Geraldi, J.(2017). Errors, lies and misunderstandings: Systematic review on behavioural decision making in projects. *International Journal of Project Management*, 35(2), 121-135.
- 142.Sudhaman, P., & Thangavel, C. (2015). Efficiency analysis of ERP projects— software quality perspective. *International Journal of Project Management*, 33(4), 961–970.
- 143.Tao, G. (2012). Multi-Department Employee Performance Evaluation Based on DEA Cross Efficiency. *Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences (JETEMS)*, 3(5), 553–558.
- 144.Tavana, M., Keramatpour, M., Santos-Arteaga, F.J., & Ghorbaniane, E. (2015). A fuzzy hybrid project portfolio selection method using data envelopment analysis, TOPSIS and integer programming. *Expert Systems with Applications*, 42(22), 8432-8444.

145. Tavana, M., Khalili-Damghani, K., & Sadi-Nezhad, S. (2013). A fuzzy group data envelopment analysis model for high-technology project selection: A case study at Nasa. *Computers & Industrial Engineering* 66, 10–23.
146. Toloo, M., & Tavana, M., 2017. A novel method for selecting a single efficient unit in data envelopment analysis without explicit inputs/outputs. *Annals OR*, 253(1), pp.657-681.
147. Tsai Bi-Huei (2011). Exploring the influence of ERP on corporate performance using a modified DEA approach. *African Journal of Business Management*, 5(14), 5435–5448.
148. Van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., & De Boeck, L. (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226(3), 367–385.
149. Vayvay, O., Ozcan, Y., & Cruz-Cunha, M. (2012). ERP consultant selection problem using AHP, fuzzy AHP and ANP - a case study in Turkey. *E3 Journal of Business Management and Economics*, 3(3), 106–117.
150. Vinter, G., Rozenes, S., & Spraggett, S. (2006). Using data envelope analysis to compare project efficiency in a multi-project environment, *International Journal of Project Management*, 24, 323–329.
151. Von Aspen, J. (2014). Getting started in SAP: How to transform your career and become a highly paid SAP expert. *Business & Economics*.
152. Wang C. N., & Li K.-Z. (2011). A candidates' selection for district alliance of university incubators based on DEA, *Quality and Quantity*, 45, 769–781.
153. Wang, Y., Chin, K., & Yang, J. (2007). Measuring the performances of decision making units using geometric average efficiency. *European Journal of Operational Research*, 58(7), 929–937.
154. Wu, J., & Zhou, Z. (2015). A mixed-objective integer DEA model. *Annals of Operations Research*, 228(1), 81–95.
155. Wu, J., An, Q., Ali, S., & Liang, L. (2013). DEA based resource allocation considering environmental factors. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), 1128–1137.

156. Wu, J., & An, Q. (2012). New approaches for resource allocation via dea models. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11(1), 103–117.
157. Wu, M.C., & Sun, S.H. (2006). A project scheduling and staff assignment model considering learning effect. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(11), 1190-1195.
158. Xie, L.L., Xia, B., Hu, Y., Shan, M., Le, Y., & Chan, A.P. (2017). Public participation performance in public construction projects of South China: A case study of the Guangzhou Games venues construction. *International Journal of Project Management*, 35(7), 1391-1401.
159. Xu, Y., & Yeh, C.H. (2014). A performance-based approach to project assignment and performance evaluation. *International Journal of Project Management*, 32(2), 218–228.
160. Yu, M.M., Chern, C.C., & Hsiao, B. (2013). Human resource rightsizing using centralized data envelopment analysis: Evidence from Taiwan's airports. *Omega*, 41(1), 119–130.
161. Zbranek, P. (2013). Data envelopment analysis as a tool for evaluation of employees' performance. *Acta Oeconomica et Informatica*, 16(1), 2013.
162. Zhu, J., & Mostafavi, A. (2017). Discovering complexity and emergent properties in project systems: A new approach to understanding project performance. *International Journal of Project Management*, 35(1), 1-12.

## Spisak tabela i slika

### Spisak tabela

<b>Tabela 1.</b> Inicijalne vrednosti indikatora performansi .....	81
<b>Tabela 2.</b> Numeričke vrednosti indikatora performansi .....	82
<b>Tabela 3.</b> Korelaciona analiza.....	83
<b>Tabela 4.</b> Vrednosti i relacije između kriterijuma .....	84
<b>Tabela 5.</b> Rezultati analize efikasnosti i selekcije konsultanata .....	84
<b>Tabela 6.</b> Ulazni podaci – vrednosti kriterijuma .....	86
<b>Tabela 7.</b> Rezultati procene indeksa efikasnosti i izbora konsultanta .....	87
<b>Tabela 8.</b> Sumarni rezultati analize efikasnosti i raspoređivanja .....	88
<b>Tabela 9.</b> Sumarni rezultati eksperimenata.....	89
<b>Tabela 10.</b> Dodatna ograničenja .....	90
<b>Tabela 11.</b> Vrednosti ulaza, izlaza i indeksi efikasnosti (Martinović & Savić, 2019) ..	92
<b>Tabela 12. (nastavak 1)</b> Vrednosti ulaza, izlaza i indeksi efikasnosti (Martinović & Savić, 2019) .....	93
<b>Tabela 13. (nastavak 2)</b> Vrednosti ulaza, izlaza i indeksi efikasnosti (Martinović & Savić, 2019) .....	94
<b>Tabela 14.</b> Plan rasporeda konsultanata 1 (Martinović & Savić, 2019).....	95
<b>Tabela 15.</b> Plan rasporeda konsultanata 2 (Martinović & Savić, 2019).....	96

## Spisak slika

Slika 1. <i>Granica efikasnosti (Savić, 2012)</i> .....	7
Slika 2. <i>Dijagram toka primene DEA (Golany i Roll, 1989., strana 240)</i> .....	21
Slika 3. <i>Menadžment konsalting (Greiner i Ennsfellner, 2010)</i> .....	37
Slika 4 <i>Grafički prikaz opšteg toka procesa raspoređivanja resursa i/ili promena na projektu (Kroeger i sr., 2012, U.S. Patent No. 8.214.240, slika 9)</i> .....	39
Slika 5. <i>Kriterijumi ocene učinka konsultanta (CPE) i odgovarajući kvantitativni indikatori (Chow i Ng, 2007), strana 426.</i> .....	41
Slika 6. <i>Veza aktivnost- konsultant</i> .....	69
Slika 7. <i>Veza projekat-aktivnost-konsultant</i> .....	75
Slika 8. <i>Hijerarhija problema selekcije konsultanata</i> .....	79

## Biografija

Nataša Martinović rođena je 09.04.1968. u Beogradu. Završila je O.Š. „Zmaj Jova Jovanović“ u Beogradu sa odličnim uspehom, a potom kao nosilac Vukove diplome završila prve dve godine usmerenog obrazovanja (prva generacija usmerenog obrazovanja) u “Drugoj ekonomskoj školi” a treću i četvrtu godinu kao najbolji učenik “Grafičke škole”. Akademske 1987/88 upisala je Fakultet organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu, smer za informacione sisteme, koji je završila sa prosečnom ocenom 8,71. Dana 16.06.1992. diplomirala je na temu „Razvoj informacionog sistema kratkoročnih bankarskih pozajmica“ kod prof. dr Branislava Lazarević kao mentora, sa najvišom ocenom (10) i dobila zvanje diplomirani inženjer organizacije za informacione sisteme.

Sve vreme studija Nataša je bila u radnom odnosu kao „vanredni student uz rad“, što je nije sprečilo da završi studije kao jedan od najboljih studenata generacije (diplomirala kao druga od svoje generacije, u roku, sa visokim prosekom ocena).

Školske 1994/1995 upisala je magistarske studije na Fakultetu organizacionih nauka, opredelivši se za studijsku grupu Informacioni sistemi, koje je nakon završetka 4 semestra i položenog jednog ispita, na svoju veliku žalost morala da napusti iz privatnih razloga. Školske 2012/2013 godine upisuje doktorske studije na Fakultetu organizacionih nauka, smer Informacioni sistemi i Menadžment, izborno područje Menadžment. Položila je sve ispite predviđene planom i programom u roku, sa prosečnom ocenom 9,78.

Sa velikim iskustvom u različitim kompanijama na različitim pozicijama i radnim stažom preko 30 godina, radila je u više banaka kao projektant IS (na nekim projektima u saradnji sa kolegama sa Fakulteta organizacionih nauka npr. prof. dr. Nešković Sinišom, Bataveljić Pavlom, Ilić Simom), držala obuku za Informix kolegama iz Republičkog sekretarijata za razvoj Crne Gore (teorijski i praktičan deo prenosa konkretnih iskustava na Informix projektima na poziv prof. dr. Marjanović Zorana), bila na poziciji Direktor Sektora obezbeđenja kvaliteta, gde je radila na uvođenju standarda ISO 9001 2008 – Quality Management. Od 2005. godine počela je da radi u S&T Serbia (SAP partnerska kuća) kao SAP FI konsultant, 2006. završila SAP FI akademiju i položila sertifikat iz oblasti Financial Accounting-a (FICO), a nakon toga i iz oblasti Cash Management i

Funds Management. Kao vodeći FM konsultant 2010. realizovala je prvu uspešnu implementaciju Upravljanja budžetima u preduzeću „PTT Srbija“.

Najveće priznanje u dosadašnjoj karijeri je postigla 2012. godine kada je počela da radi u SAP West Balkans DOO Beograd, na poziciji Business Processes Principal Consultant i Project Manager-a, izabrana kao jedan od najboljih SAP konsultanta u regiji na osnovu postignutih izuzetnih rezultata prethodnih godina. Do sada je bila angažovana na preko 50 projekata od kojih je najveći broj međunarodnih projekata (roll-out implementacije kao što su Gorenje, Knauf Insulation, BASF, Trost, Trans Cargo Logistic, ABB, DM-drogerie markt, Geze, Xella...), kao i potpune implementacije (npr. PTT, SBB, Direct Group, Institut „Mihajlo Pupin“, Nelt, EPS...). Poslednjih jedanaest godina je odgovorna za SAP FI lokalizaciju za Srbiju. Od aprila 2015. menja poziciju u istoj kompaniji i od tada radi kao SAP Principal Solution Architect.



## Spisak objavljenih radova

### *Radovi objavljeni u časopisima*

1. **Martinović, N., & Savić, G.** (2019). Staff Assignment to Multiple Projects Based on DEA Efficiency. *Engineering Economics*, 30(2), 163-172.

<http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.30.2.20272>

2. **Martinović, N., & Delibašić, B.** (2014). Selection of the best consultant for SAP ERP project using combined AHP-IBA approach. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 24(3) (ISSN: 0354-0243 EISSN: 2334-6043, DOI: 10.2298/YJOR140228036M),383 - 398.

### *Radovi objavljeni na međunarodnim i domaćim konferencijama*

1. **Martinović, N., & Savić, G.** (2015). Selection of the project consultants based on DEA efficiency. *Proceedings of 34th International Conference on Organizational Science Development*. Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor, Portorož, Slovenia, INTERNATIONALIZATION AND COOPERATION (ISBN 978-961-232-283-0), 148–160.
2. **Martinović, N., & Delibašić, B.** (2013). Selection of the best consultant for SAP ERP project using combined AHP-IBA approach. *XI Balcan Conference on Operational Research*. Faculty of Organizational Science, University of Belgrade, Belgrade, BALCOR 2013 (ISBN 978-86-7680-285-2),683–692.
3. Savić G., Kuzmanović M., & **Martinović N.** (2017). Mixed-integer Programming DEA-based Efficiency Evaluation and Selection, *Book of Abstracts: 4th International Conference on Optimization Methods and Software 2017*, 16-20-12-2017, Habana, Cuba.

## ***IZJAVA O AUTORSTVU***

Ime i prezime autora Nataša Martinović

Broj indeksa 5028/2012

### **Izjavljujem**

Da je doktorska disertacija pod naslovom

Optimalno raspoređivanje konsultanata na više projekata na osnovu ocene efikasnosti

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diploma prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristio/la intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE  
DOKTORSKOG RADA**

Ime i prezime autora: Nataša Martinović

Broj indeksa 5028/2012

Studijski program: Informacioni sistemi i kvalitativni menadžment

Naslov rada: Optimalno raspoređivanje konsultanata na više projekata na osnovu ocene efikasnosti

Mentor dr Gordana Savić

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala radi pohranjenja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doctor nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, \_\_\_\_\_

## ***IZJAVA O KORIŠĆENJU***

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku “Svetozar Marković” da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

Optimalno raspoređivanje konsultanata na više projekata na osnovu ocene efikasnosti

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

Potpis autora

U Beogradu, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, I prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

**Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju I javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

**Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju I javno saopštavanje dela, I prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

**Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence iako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela I prerada.

**Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

**Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, I prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence iako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.