

Hibridni model za merenje efikasnosti saobraćajnih infrastrukturnih projekata

ANIS S. IVANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

DRAGANA V. MACURA, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

NIKOLA LJ. KNEŽEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

Originalni naučni rad

UDC: 656:005.8

DOI: 10.5937/tehnika1906849I

U cilju povećanja uspešnosti saobraćajnih projekata potrebno je razviti adekvatne modele za upravljanje performansama. Elementi ovih modela su ključni indikatori performansi (KPI), pomoću kojih se meri uspešnost projekata. U ovom radu se predlaže hibridni model za merenje efikasnosti saobraćajnih infrastrukturnih projekata javno-privatnog partnerstva korišćenjem ključnih indikatora performansi koji su definisani u skladu sa procenjenim uticajem zainteresovanih strana. Autori su predložili primenu ANP i PCA pristupa. Razvijeni hibridni PCA-DEA model primenjen je na primeru procene efikasnosti aerodroma u Sarajevu za 2017. godinu. Rezultati su pokazali da je aerodrom Sarajevo relativno neefikasan. Relativno efikasan nivo performansi aerodrom Sarajevo može ostvariti i sa 22% manjim ulazima/većim izlazima.

Ključne reči: *metrički indikatori, merenje performansi saobraćajnih infrastrukturnih projekata, efikasnost, uticaj zainteresovanih strana, KPI, ANP, PCA-DEA*

1. UVOD

Kako bi saobraćajni infrastrukturni projekti javno-privatnog partnerstva (PPP - Public-Private Partnership) bili efektivniji i efikasniji potrebno je poboljšati upravljanje performansama. Uspešnost saobraćajnog infrastrukturnog projekta, odnosno ispunjavanje postavljenih ciljeva projekta, meri se pomoću definisanih ključnih indikatora performansi (KPI - Key Performance Indicators).

Cilj istraživanja ovog rada je definisanje KPI koji bi mogli poboljšati aerodromske infrastrukturne projekte PPP iz perspektive različitih zainteresovanih strana i poboljšanje merenja performansi aerodroma.

Rad se sastoji iz četiri poglavlja. Nakon uvoda i kratkog pregleda literature, razvoj modela i dobijeni rezultati prikazani su u trećem poglavlju. U četvrtom poglavlju data su zaključna razmatranja zajedno sa pravcima daljih istraživanja.

Adresa autora: Anis Ivanović, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305

e-mail: anis.ivanovic@gmail.com

Rad primljen: 08.10.2019.

Rad prihvaćen: 14.10.2019.

2. PREGLED LITERATURE

U ovom poglavlju prikazan je kraći pregled relevantnih radova u kojima su se primenjivali sledeći pristupi u merenju performansi: analitički hijerarhijski proces (AHP - Analytic Hierarchy Process), analitički mrežni proces (ANP - Analytic Network Process), analiza glavnih komponenti (PCA - Principal Component Analysis) i analiza obavljanja podataka (DEA - Data Envelopment Analysis). U relativno malom broju radova je korišćena kombinacija ovih metoda za merenje performansi iz oblasti saobraćaja.

DEA pristup opisan je i predstavljen kroz rad [4] i [5], a PCA-DEA pristup opisan je i predstavljen kroz rad [1] i [2].

U radu [3] razvijen je ANP model određivanja uticaja zainteresovanih strana u saobraćajnim infrastrukturnim projektima. Autori rada [6] bavili su se merenjem performansi aerodroma koristeći metode ANP i DEA.

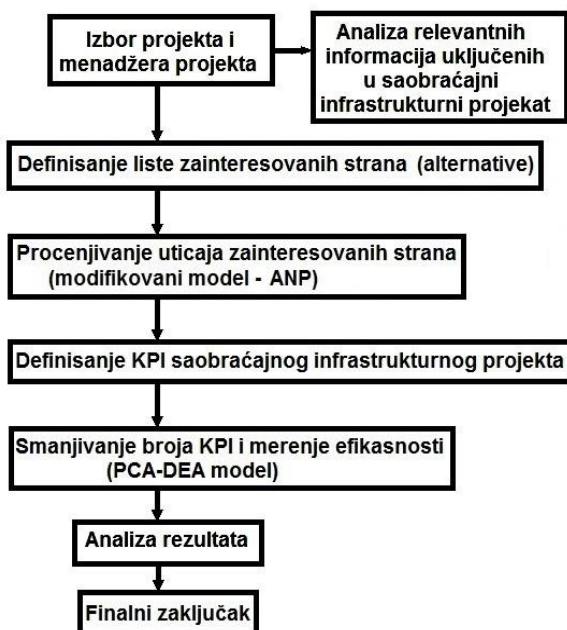
3. RAZVOJ MODELA

Hibridni model za merenje efikasnosti saobraćajnih infrastrukturnih projekata PPP koristi KPI koji su

definisani u skladu sa procenjenim uticajem zainteresovanih strana. Specifičnost hibridnog modela, prikazanog u ovom radu, je što se na jednostavan način može prilagoditi zahtevima različitih saobraćajnih infrastrukturnih projekata PPP tj. različitim poslovnim strategijama.

Cilj primene hibridnog modela je kvalitetnije i lakše upravljanje performansama saobraćajnih infrastrukturnih projekata PPP iz perspektive različitih zainteresovanih strana. Elementi hibridnog modela su (slika 1):

- ANP, kao metoda za određivanje uticaja zainteresovanih strana,
- PCA, kao metoda smanjenja dimenzije podataka i
- DEA, kao metoda merenja performansi.



Slika 1 - Predloženi hibridni model za merenje efikasnosti saobraćajnih infrastrukturnih projekata

3.1. Određivanje uticaja zainteresovanih strana ANP pristupom

Metodologija

Višekriterijumski ANP pristup za analizu uticaja zainteresovanih strana na saobraćajni infrastrukturni projekat PPP (izgradnja aerodroma) primenjen je na hipotetičku studiju slučaja.

Korak 1. Izbor zainteresovanih strana

U prvoj fazi istraživanja izvršen je izbor zainteresovanih strana. Menadžer projekta (PM - Project Manager) poznaje projekat koji se analizira i identifikuje ključne zainteresovane strane. U ovoj studiji slučaja identifikovano je 8 zainteresovanih strana koje su grupisane u 2 klastera, unutrašnje i spoljašnje zainteresovane strane.

Klaster - Unutrašnje zainteresovane strane:

- ZSU1. Generalni direktor - pokrovitelj projekta.
- ZSU2. Inženjer odeljenja za sisteme - promoter i direktor rada. On je menadžer projekta koji isti analizira u ovoj studiji slučaja i odgovoran je za instalacije i objekte infrastrukturnog projekta.
- ZSU3. Sindikat - želi da se infrastrukturni projekat izgradi što pre i pod uslovima maksimalne bezbednosti.
- ZSU4. Inženjer odeljenja za održavanje – odgovoran je za održavanje i svakodnevni rad objekata. Određuje osoblje koje radi na projektu.
- ZSU5. Administrator bezbednosti - obezbeđuje poštovanje zakona koji se tiču upravljanja sigurnošću. Ne dozvoljava promene u radu aerodromskog sistema koje mogu smanjiti sigurnost vazduhoplovnih operacija.

Klaster - Spoljašnje zainteresovane strane:

- ZSS1. Izvođač radova - izvršava projekat, zadužen je za gradnju objekta i pod nadzorom je osoblja aerodroma. Mora ispunjavati uslove predviđene ugovorom i načine izvođenja radova koji su odobreni od strane koordinatora za zdravlje i bezbednost i odeljenja bezbednosti aerodroma.
- ZSS2. Snabdevač - obezbeđuje materijal, opremu, sisteme i tehničku specifikaciju za proces izgradnje. Odgovoran je za razvoj korisničkih priručnika za održavanje.
- ZSS3. Koordinator za zdravlje i bezbednost - daje savete administratoru za bezbednost aerodroma i odgovoran je za poštovanje zakonodavstva. Ova usluga je obezbeđena od strane spoljnog podizvođača.

Korak 2. Kreiranje kriterijuma za merenje uticaja

U ovoj fazi istraživanja izvršena je identifikacija kriterijuma za merenje uticaja zainteresovanih strana tehnikom „brainstorming“, primenjenom na grupu eksperata (stručnjaka, praktičara i istraživača) u transportnim sektorima PPP. Lista identifikovanih kriterijuma je prerađena i modifikovana kroz pregled literature i potvrđena putem anketnog upitnika. Model merenja uticaja zainteresovanih strana ima petnaest kriterijuma grupisanih u pet klastera. U radu [3] definisana su prva četiri klastera, a peti klaster je novitet predloženog hibridnog modela:

- Klaster „Znanje“ sastoji se od elemenata koji daju informacije o nematerijalnim veštinama ili znanjima koje su stekle zainteresovane strane.
- Klaster „Društvene veštine“ predstavlja nematerijalne vrednosti koje su blisko povezane sa društvenom interakcijom jedne zainteresovane strane.
- Klaster „Imovina“ obuhvata svu imovinu koja ima novčanu vrednost, a koju poseduje zainteresovana strana.

- Klaster „Okruženje“ sastoji se od elemenata koji dozvoljavaju spoljašnju zavisnost.
- Klaster „Javni interes“ sastoji se od elemenata koji zadovoljavaju društveni interes.

Kriterijumi imaju sledeće značenje:

Klaster: Znanje

Z1: *Stručno znanje*. Odnosi se na znanje koje jedna zainteresovana strana dodatno poseduje npr. kroz dalje obuke. Ovaj kriterijum se ne odnosi na znanje koje jedna zainteresovana strana poseduje kroz svoju profesiju.

Z2: Profesionalna kompetentnost. Odnosi se na znanje koje je jedna zainteresovana strana stekla kroz obrazovanje i rad u profesiji.

Z3: Iskustvo. Odnosi se na situacije, okolnosti i događaje koje je jedna zainteresovana strana doživela u prošlosti.

Klaster: Društvene veštine

D1: Reprezentativnost. Odnosi se na sposobnost jedne zainteresovane strane da se predstavlja putem društvenih sposobnosti unutar mreže.

D2: Povezivanje sa drugima. Odnosi se na sposobnost jedne zainteresovane strane da stvara koalicije putem društvenih sposobnosti unutar mreže.

D3: Manipulisanje drugima. Odnosi se na sposobnost jedne zainteresovane strane da postigne individualne ciljeve upravljajući drugim zainteresovanim stranama kroz mrežu npr. kroz sposobnost liderstva.

Klaster: Imovina

I1: Finansijska sigurnost. Odnosi se na likvidnost ili finansijsku stabilnost jedne zainteresovane strane.

I2: Obezbeđivanje resursa. Odnosi se na spremnost i sposobnost jedne zainteresovane strane da obezbedi resurse za projekat.

I3: Obezbeđivanje finansijskih sredstava. Odnosi se na spremnost i sposobnost jedne zainteresovane strane da obezbedi finansijska sredstva za projekat.



Slika 2 - Klasteri i kriterijumi koji se koriste za procenu uticaja zainteresovanih strana u ANP modelu

Klaster: Okruženje

O1: Zavisnost od spoljnih faktora. Odnosi se na stepen zavisnosti jedne zainteresovane strane od faktora koji nisu u mreži projekta, npr. politika ili regulatorna tela.

O2: Javna slika. Odnosi se na sliku koju jedna zainteresovana strana ima izvan mreže npr. preko medija.

O3: Hijerarhijska pozicija. Odnosi se na moć koju jedna zainteresovana strana poseduje kroz svoju hijerarhijsku poziciju.

Klaster: Javni interes

J1: Cena/Tarifa. Odnosi se na stepen uticaja jedne zainteresovane strane na tarifu usluge/cenu izgradnje.

J2: Nivo usluge/Kvalitet izgradnje. Odnosi se na stepen uticaja jedne zainteresovane strane na nivo usluge/kvalitet izgradnje.

J3: Bezbednost. Odnosi se na stepen uticaja jedne zainteresovane strane na bezbednost.

Slika 2 ilustruje odabrane klasterne i kriterijume koji se koriste u predloženom ANP modelu.

Korak 3. Modeliranje procene uticaja ANP modelom

U ovom koraku svi predloženi koraci ANP modela primenjeni su za izračunavanje konačnog indeksa uticaja.

ANP model za definisanje KPI zasnovanih na nivou uticaja zainteresovanih strana na projekat

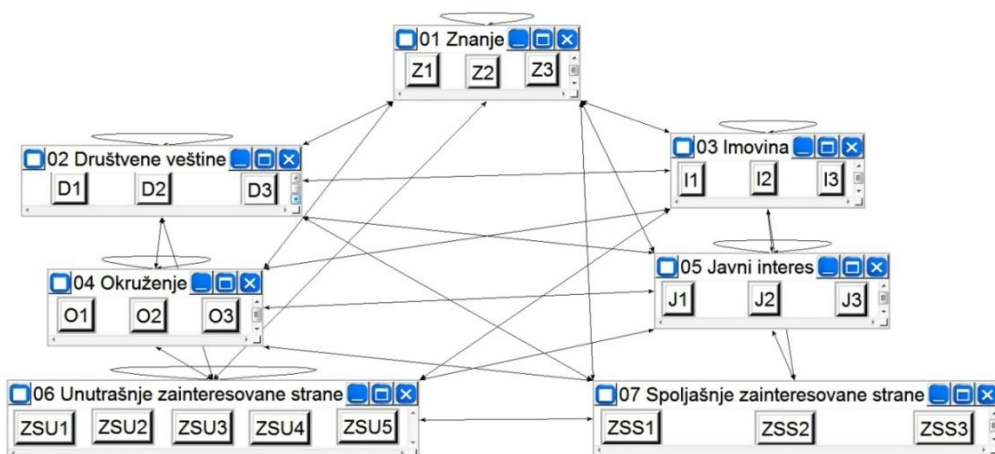
Kriterijumi su određeni i grupisani u opšti model koji uzima u obzir sve potrebne elemente i prihvaćen je od strane menadžera projekta i svih zainteresovanih strana. Analizirana je zavisnost između kriterijuma i zainteresovanih strana, kao i između zainteresovanih

strana konkretnog saobraćajnog infrastrukturnog projekta. Koristi se 0-1 zavisna matrica čiji elementi uzimaju vrednost 0 ili 1 u zavisnosti od toga da li menadžer projekta smatra da jedan element ima zavisnost u odnosu na drugi ili ne. Dakle, 1 u poziciji ri,j matrice znači da element u redu i ima određeni uticaj na element u koloni j . Redovi i kolone matrice formiraju se po svim elementima mreže, tj. po kriterijumima i zainteresovanim stranama. Ove informacije daje

menadžer projekta. Na primer, kriterijum Z2 Profesionalna kompetentnost (u koloni) zavisi od kriterijuma Z1, Z3, D1, D2, D3, I1, I2 i I3 (u redovima) i svih zainteresovanih strana. Matrica uključuje zavisnosti između zainteresovanih strana projekta i između zainteresovanih strana i kriterijuma. Tabela 1 ilustruje dobijenu matricu. Zainteresovane strane koje je identifikovao menadžer projekta i zavisnosti između kriterijuma korišćene su za izgradnju ANP mreže (slika 3).

Tabela 1. Zavisna matrica svih elemenata mreže ANP modela

	Z1	Z2	Z3	D1	D2	D3	I1	I2	I3	O1	O2	O3	J1	J2	J3	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8
Z1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D3	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I2	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I3	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
O1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
O2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
O3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
J1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
J2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
J3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
ZS1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
ZS2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
ZS3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
ZS4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
ZS5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
ZS6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
ZS7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
ZS8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0



Slika 3 - ANP model uticaja u Superdecisions©-u

Dizajniran je upitnik kako bi se procenio stepen uticaja koji svaki element ima na druge elemente sa kojima je povezan. Menadžer projekta mora odgovoriti na sva uparena pitanja koja zahteva ANP model. Primer upitnika prikazan je na slici 4. Dobijene preferencije, kroz pitanja i odgovore u oba smera, pomažu u uspostavljanju pravih prioriteta svih elemenata saobraćajnog infrastrukturnog projekta.

Uporedite sledeće elemente u klasteru „Imovina“ prema njihovom uticaju na element D2. Povezanost sa drugima u klasteru „Društvene veštine“:

I2 Obezbeđivanje resursa
I3 Pružanje finansijskih sredstava

Koji element ima veći uticaj? I2 I3

Koliko je uticaj veći? Jednako Umereno Jako Jače Ekstremno

Slika 4 - Primer upitnika kojim se utvrđuju prioriteta između elemenata ANP modela

Za izračunavanje prioriteta između elemenata istog klastera koriste se uparena poređenja i izračunava se sopstveni vektor koji je povezan sa glavnom sopstvenom vrednošću. Kao rezultat dobija se neponderisana supermatrica. Svrha ovog koraka je da odredi koji je element klastera uticajni i u kojoj meri.

U mrežnom modelu različiti elementi iz različitih klastera imaju uticaj na jedan element i na odgovarajuću neponderisanu matricu koja nije stohastička po kolonama. Prema Satiju [8], klasteri koji vrše bilo kakav uticaj na svaki klaster moraju biti prioritetni korišćenjem odgovarajućih matrica za poređenje klastera. Vrednost koja odgovara prioritetu koji je povezan sa određenim ponderom klastera daje prioritet (prednost) elementima klastera na koje deluje (u odgovarajućoj neponderisanoj supermatrici). Na taj način se generiše ponderisana supermatrica.

Granična supermatrica se dobija povećanjem ponderisane supermatrice uzastopnim silama sve dok se

njihovi ulazi ne približe. U ovoj matrici elementi svake kolone predstavljaju finalne pondere (težine) različitih elemenata modela. Za sve elemente unutar matrice dobija se bezdimenzionalna vrednost između 0 i 1. Za alternative (zainteresovane strane) ova vrednost pokazuje uticaj svake zainteresovane strane u odnosu na ostale i naziva se indeksom uticaja.

Analiza rezultata istraživanja

Budući da sve kolone ove poslednje matrice imaju iste vrednosti, u tabeli 2 su prikazane samo rezultujuće vrednosti jedne kolone zbog ograničenja prostora. Kolona „granične matrice“ pokazuje uticaj koji svaka zainteresovana strana ima u odnosu na celu mrežu. „Normalizovana klasterima“ kolona pokazuje relativni uticaj (prioritete) među unutrašnjim i spoljašnjim zainteresovanim stranama. „Normalizovana“ kolona pokazuje uticaj (prioritete) koji svaka zainteresovana strana ima u odnosu na ostale zainteresovane strane. Može se videti da su ZSU2 „Inženjer odeljenja za sisteme“ i ZSU1 „Generalni direktor“ najuticajnije zainteresovane strane među unutrašnjim zainteresovanim stranama. ZSS1 „Izvođač radova“ i ZSS2 „Snabdevač“ su najuticajnije zainteresovane strane među spoljašnjim zainteresovanim stranama.

Tabela 3 prikazuje prioritete kriterijuma. Kolona „Granične matrice“ pokazuje uticaj svakog kriterijuma na celu mrežu (uključujući zainteresovane strane). „Normalizovana klasterima“ kolona pokazuje relativni uticaj (prioritete) među kriterijumima.

U ANP modelu, ove studije slučaja, težine kriterijuma su pod uticajem konkretnih zainteresovanih strana. Najrelevantniji kriterijum je Z2 „Profesionalna kompetentnost“, a zatim kriterijum I1 „Finansijska sigurnost“ i J1 „Cena/tarifa“, uzimajući u obzir sve uticaje u mreži. Kriterijumi koji imaju najmanji uticaj su Z1 „Stručno znanje“ i I2 „Obezbeđivanje resursa“.

Tabela 2. Konačni prioriteta zainteresovanih strana ANP modela

		Granična matrica	Normalizovana klasterima
06 Unutrašnje zainteresovane strane	ZSU1. Generalni direktor	0.042	0.264
	ZSU2. Inženjer odeljenja za sisteme	0.042	0.266
	ZSU3. Sindikat	0.023	0.145
	ZSU4. Inženjer odeljenja za održavanje	0.028	0.175
	ZSU5. Administrator bezbednosti	0.024	0.150
07 Spoljašnje zainteresovane strane	ZSS1. Izvođač radova	0.070	0.440
	ZSS2. Snabdevač	0.060	0.377
	ZSS3. Koordinator za zdravlje i sigurnost	0.029	0.183

Tabela 3. Konačni prioriteti kriterijuma ANP modela

		Granična matrica	Normalizovana klasterima
01 Znanje	Z1. Stručno znanje	0.023	0.099
	Z2. Profesionalna kompetentnost	0.132	0.578
	Z3. Iskustvo	0.074	0.324
02 Društvene veštine	D1. Reprezentativnost	0.051	0.385
	D2. Povezivanje sa drugima	0.028	0.210
	D3. Manipulisanje drugima	0.054	0.405
03 Imovina	I1. Finansijska sigurnost	0.082	0.467
	I2. Obezbeđivanje resursa	0.035	0.201
	I3. Pružanje finansijskih sredstava	0.058	0.331
04 Okruženje	O1. Zavisnost od spoljnih faktora	0.018	0.246
	O2. Javna slika	0.026	0.357
	O3. Hijerarhijska pozicija	0.029	0.398
05 Javni interes	J1. Cena/Tarifa	0.031	0.424
	J2. Nivo usluge/Kvalitet izgradnje	0.019	0.263
	J3. Bezbednost	0.023	0.313

Definisanje KPI saobraćajnih (aerodromskih) infrastrukturnih PPP projekata iz perspektive različitih zainteresovanih strana primenom hibridnog modela

U ovom radu predstavljen je modifikovani model koji omogućava menadžeru projekta da izvrši kvantitativnu analizu uticaja različitih zainteresovanih strana na projekat. Pokazano je da je ANP odgovarajući alat za analizu uticaja zainteresovanih strana i da je, uz ispravnu primenu metodologije, važno detaljno poznavanje saobraćajnog infrastrukturnog projekta.

Pokazatelji (indikatori) mogu imati kvantitativna i kvalitativna obeležja. Kako bi poboljšali saobraćajne infrastrukturne PPP projekte iz perspektive različitih zainteresovanih strana potrebno je definisati KPI. Prvi korak je analiza indikatora šest kategorija:

- operativna efikasnost,
- upravljanje imovinom,
- kvalitet životne sredine,
- potrošnja energije,
- bezbednost i
- ekonomija.

U drugom koraku definišemo KPI kako bismo mogli ocenjivati performanse saobraćajnog infrastrukturnog PPP projekta iz perspektive različitih zainteresovanih strana određenih ANP modelom. U ovom koraku treba voditi računa da KPI:

- podržavaju ekonomski rast,
- jačaju poslovne performanse,

- poboljšavaju potrošnju energije i životnu sredinu,
- poboljšavaju istraživanje transporta i politiku ekosistema,
- rešavaju potrebe za transportom i mobilnošću u gradovima.

U posmatranom slučaju saobraćajnog infrastrukturnog projekta PPP mogu se definisati sledeće grupe metričkih indikatora:

- indikatori resursa,
- operativni indikatori,
- finansijski indikatori,
- kvalitativni indikatori,
- energetske indikatori i
- indikatori okruženja (društveno-socijalni).

Definisano je oko trideset KPI koji su prikazani u tabeli 4. U praksi se uobičajeno prati do deset KPI i zbog toga ih je potrebno redukovati kako bi se koristili pri merenju performansi modelom DEA.

Uticaj pojedinih indikatora na rezultujuće efikasnosti nije isti, stoga proizilazi i da je njihov uticaj na diskriminacionu moć modela DEA različit. Potrebno je ispitati uticaje indikatora iz pojedinih kategorija (grupa) i definisati glavne komponente (PC - Principal Component).

U prvoj fazi se izdvajaju PC korišćenjem PCA. Iz određenih kategorija (grupa) indikatora izdvaja se manji broj novih indikatora koji sadrže većinu informacija iz prvobitnog skupa date kategorije indikatora. U drugoj fazi izdvojene PC koriste se kao ulazi/izlazi u modelu DEA.

Tabela 4. Metrički indikatori saobraćajnih (aerodromskih) infrastrukturnih PPP projekata

Tip	Indikator	Ulazi/ Izlazi
Indikatori resursa	Broj zaposlenih	U
	Dužina piste	U
	Broj pista	U
	Broj specijalnih vozila	U
	Broj parking mesta za avione	
	Površina putničkog terminala	U
	Površina teretnog terminala	U
	Broj mesta za ukrcavanje putnika (gejtova)	U
Broj mesta za registraciju putnika (check-in)	U	
Energetski indikatori	Broj trakastih transportera za prtljag	U
	Potrošnja goriva	U
	Potrošnja električne energije	U
	Ostali troškovi energije (voda, gas, itd.)	U
Operativni indikatori	Kumulativni troškovi	U
	Prekovremeni radni sati zaposlenih	U
	Troškovi održavanja voznog parka	U
	Broj putnika	I
	Broj operacija vazduhoplova	I
Kvalitativni indikatori	Težina tereta	I
	Greške u pretovaru prtljaga	I
	Greške u transportu	I
	Greške u rokovima izgradnje	I
	Greške u kvalitetu izgradnje	I
Indikatori iskorišćenosti	Ukupne greške	I
	Vremenska iskorišćenost specijalnih vozila	I
	Prostorna iskorišćenost putničkog terminala	I
	Prostorna iskorišćenost teretnog terminala	I

3.2. Strukturiranje DEA modela za ocenu efikasnosti aerodroma

U ovom istraživanju metod DEA je primenjen za ocenu efikasnosti Aerodroma Sarajevo. Budući da su uzorci nehomogeni, korišćen je izlazno orijentisan model sa konstantnim prinosom na obim (CRS - Constant Return to Scale) koji teži da maksimizira izlaz pri datom nivou ulaza, a neefikasna jedinica postaje efikasna kroz povećanje svojih izlaza.

Ovaj model pokazuje kako bi se jedinica odlučivanja (DMU - Decision Making Unit) trebala kretati ka efikasnoj granici povećanja svojih izlaza proporcionalno efikasnim DMU.

Diskriminaciona moć modela DEA opada na primerima kod kojih je broj DMU $< \max\{m*s, 3(m+s)\}$, gde je: m - broj ulaza i s - broj izlaza. Ovo je jedan od nedostataka metode DEA.

3.3. PCA-DEA pristup i rezultati

Model sa dve metode, PCA i DEA, primenjen je u cilju rešavanja problema relativno malog broja DMU u odnosu na relativno veliki broj indikatora, tj. kada primena metode DEA za procenu efikasnosti saobraćajnih infrastrukturnih projekata ne daje odgovarajuće rezultate. U tom slučaju, potrebno je povećati diskriminacionu moć metode DEA korišćenjem PCA kao metode za smanjenje broja KPI uz minimalni gubitak informacija iz prvobitnog skupa indikatora.

Ovom multivarijacionom statističkom tehnikom formiraju se nove (izvedene) promenljive koje su linearne kombinacije izvornih (polaznih) promenljivih. Na taj način, analiza postaje jednostavnija jer se veliki broj indikatora svodi na manji, zadržavajući skoro svu informaciju sadržanu u prvobitnom skupu podataka. Izdvojeni indikatori se koriste kao ulazi/izlazi u metodi DEA.

Prikupljeno je 15 indikatora od kojih:

- 9 pripada grupi „indikatori resursa“ (broj zaposlenih, dužina piste, broj pista, broj parking mesta za avione, površina putničkog terminala, površina teretnog terminala, broj mesta za ukrcavanje putnika (gejtova), broj mesta za registraciju putnika (check-in), broj trakastih transportera za prtljag),
- 3 pripada grupi „operativni indikatori“ (broj putnika, broj operacija vazduhoplova, težina tereta), i
- 3 pripada grupi „finansijski indikatori“ (vlasnički kapital, prihod, rashod).

U prvom koraku, primenjena je PCA na grupu „indikatori resursa“ koji su svi ulazni indikatori i grupu „operativni indikatori“ koji su svi izlazni indikatori. Procenom je izvršeno smanjenje broja indikatora uz minimalni gubitak informacija. Rezultati PCA u posmatranom primeru prikazani su u tabeli 5.

Tabela 5. Rezultati PCA iz grupe „Indikatori resursa“ i „Operativni indikatori“

Ulazi	Prosek	PC1	PC2	PC3	PC4
Broj zaposlenih	779.95	0.362	0.199	0.271	0.393
Dužina piste	3182	0.357	-0.473	-0.144	-0.170
Broj pista	1.421	0.170	0.514	-0.616	0
Broj parking mesta za avione	34.21	0.414	0	0	0.182
Površina putničkog terminala	59036	0.277	0	-0.453	-0.458
Površina teretnog terminala	11140	0.260	-0.630	-0.130	0
Broj mesta za ukrcavanje putnika	22.16	0.421	0	0.147	0.281
Broj mesta za registraciju putnika	40.11	0.425	0	0.148	0
Broj trakastih transportera za prtljag	5.0	0.196	0.219	0.510	-0.701
<i>Ukupna varijansa</i>		54%	67%	78%	88%
Broj putnika	5212984	0.700	0.131		
Broj operacija vazduhoplova	53852	0.706	0		
Težina tereta	65579	0.107	-0.991		
<i>Ukupna varijansa</i>		66%	99%		

Iz grupe „indikatori resursa“ izdvojene su dve PC u kojima je sadržan najveći deo varijanse, oko 54%. Na osnovu koeficijenta korelacije lako se može uočiti da „Broj mesta za ukrcavanje putnika“ i „Broj mesta za registraciju putnika“ imaju najveći uticaj na prvu komponentu. Iz grupe „Operativni indikatori“ izdvojena je jedna PC u kojoj je sadržan najveći deo varijanse, oko 66%. Na osnovu koeficijenta korelacije lako se može uočiti da „Broj operacija vazduhoplova“ ima najveći uticaj na prvu komponentu. Izdvojene komponente iz pojedinih grupa korišćene su kao ulazi u PCA-DEA modelu.

PCA-DEA model sa redukovanim „Indikatorima resursa“ i „Operativnim indikatorima“ koji su uključeni u ocenu efikasnosti datih aerodroma, odnosno DMU, primenjen je za 19 aerodroma. Model DEA ima 4 ulaza i 2 izlaza koji su prikazani u tabeli 6.

Tabela 6. Metrički indikatori za ocenu efikasnosti 19 aerodroma PCA-DEA modelom

Ulazi	Vlasnički kapital (miliona €)
	Rashod (miliona €)
	Broj mesta za ukrcavanje putnika
	Broj mesta za registraciju putnika
Izlazi	Broj operacija vazduhoplova
	Prihod (miliona €)

Rezultati modela DEA dobijeni korišćenjem softverskog paketa RStudio prikazani su u tabeli 7.

Sagledavanjem rezultata iz tabele 7 može se zaključiti da su aerodromi (Beograd, Zagreb, Ljubljana, Talin, Zadar, Beč, Luksemburg, Riga, Prag, Atina) relativno efikasni, odnosno 10 DMU formiraju efikasan omotač. Njihova efikasnost je 1, a to znači da ne poseduju „višak“ u ulaznim ni „manjak“ u izlaznim

promenljivim. Ostali aerodromi se mogu smatrati relativno neefikasnim.

Tabela 7. Efikasnost i rang 19 aerodroma izračunati primenom PCA-DEA modela za 2017. godinu

Aerodrom	Efikasnost	Rang
Sarajevo (SJJ/LQSA)	0.7252183	13
Beograd (BEG/LYBE)	1.0000000	1
Zagreb (ZAG/LDZA)	1.0000000	1
Ljubljana (LJU/LJLJ)	1.0000000	1
Niš (INI/LYNI)	0.5652376	17
Dubrovnik (DBV/LDDU)	0.4830767	18
Talin (TLL/EETN)	1.0000000	1
Split (SPU/LDSP)	0.6427634	16
Zadar (ZAD/LDZD)	1.0000000	1
Pula (PUY/LDPL)	0.7634303	12
Rijeka (RJK/LDRI)	0.6638418	15
Beč (VIE/LOWW)	1.0000000	1
Malta (MLA/LMML)	0.9882522	11
Grac (GRZ/LOWG)	0.4595170	19
Luksemburg (LUX/ELLX)	1.0000000	1
Rimini (RMI/LIPR)	0.7056514	14
Riga (RIX/EVRA)	1.0000000	1
Prag (PRG/LKPR)	1.0000000	1
Atina (ATH/LGAV)	1.0000000	1

4. ZAKLJUČAK

Kako bi se obezbedilo uspešno funkcionisanje saobraćajnog infrastrukturnog projekta potrebno je kontinuirano praćenje finansijskih i nefinansijskih parametara (indikatora), što je u ovom radu i analizirano na primeru najznačajnijih ključnih indikatora. Korišćen je model PCA-DEA za procenu efikasnosti aerodroma u

Sarajevu za 2017. godinu. Rezultati su pokazali da je Aerodrom Sarajevo relativno neefikasan u poređenju sa datom grupom aerodroma. Aerodrom Sarajevo može ostvariti relativno efikasan nivo performansi i sa 22% manjim ulazima/većim izlazima.

Hibridni model koji je razvijen za merenje performansi (efikasnosti) saobraćajnih infrastrukturnih projekata PPP iz perspektive različitih zainteresovanih strana, kao i rezultati istraživanja u ovom radu:

- stvaraju osnovu za kvalitetnije i lakše upravljanje performansama saobraćajnih infrastrukturnih projekata,
- pružaju mogućnost za dalja istraživanja u ovoj oblasti uključivanjem novih pokazatelja (indikatora) i uspostavljanjem njihove baze podataka za saobraćajne infrastrukturne projekte, i
- pružaju mogućnost za dalji razvoj hibridnog modela koji bi kombinovao predloženi pristup sa pristupom simulacije i optimizacije saobraćajnih infrastrukturnih projekata čime bi se značajno unapredio proces efikasnosti.

LITERATURA

- [1] Andrejić M, Bojović N, Kilibarda M, *Benchmarking distribution centres using Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis*, A case study of Serbia, *Expert Systems with Applications* 40, pp. 3926–3933, 2013.
- [2] Andrejić M, Kilibarda M, *Measuring Global Logistics Efficiency Using PCA-DEA Approach*, *Tehnika* 63, 5, pp. 733-740, 2016.
- [3] Aragonés-Beltrán P, García-Melón M, Montesinos-Valera J, *How to assess stakeholders' influence in project management? A proposal based on the Analytic Network Process*, *International Journal of Project Management* 35, pp. 451–462, 2017.
- [4] Gök U, Master of Science in Economics, *Evaluating Turkish Airports Efficiencies Using Data Envelopment Analysis*, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus, 2012.
- [5] Juan M, Roma C, An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization, *Journal of Air Transport Management* 7, pp. 149-157, 2001.
- [6] Ulutas B, Ulutas B, *An analytic network process combined Data Envelopment Analysis methodology to evaluate the performance of airports in Turkey*, Eskisehir Osmangazi University, Department of Industrial Engineering 26480 Eskisehir Turkey, 2006.
- [7] Ivanović A, *Prilog definisanju ključnih indikatora performansi (KPI) za saobraćajne infrastrukturne projekte*, magistarski rad, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, 2019.
- [8] Saaty, T. Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP), *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 13, Issue 1, pp 1–35, 2004.

SUMMARY

A HYBRID MODEL FOR MEASURING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS

Adequate performance management models need to be developed to increase the success of transportation projects. Elements of these models are key performance indicators (KPIs) that measure project success. This paper proposes a hybrid model for measuring the efficiency of public-private partnerships transport infrastructure projects using key performance indicators that are defined in accordance with the estimated stakeholder influence. The authors suggested the application of ANP and PCA approaches. The developed hybrid PCA-DEA model was applied to evaluate the efficiency of Sarajevo airports in 2017. The results showed that Sarajevo Airport is relatively inefficient. Sarajevo Airport can achieve a relatively efficient level of performance with 22% smaller inputs/higher outputs.

Key words: *Metric indicators, Performance measurement of transport infrastructure projects, Efficiency, Stakeholder influence, KPI, ANP, PCA-DEA*