Merenje tehničke efikasnosti mreže linija sistema javnog gradskog transporta putnika korišćenjem neparametarske DEA analize

PREDRAG V. RALEVIĆ, Visoka tehnička škola

strukovnih studija Uroševac, Leposavić

SANJA D. ILIĆ, Rico training centre doo, Beograd

PAVLE K. GLADOVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,

tehničkih nauka, Novi Sad

DEJAN V. ZLATKOVIĆ, European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), Beograd*

Pregledni rad

UDC: 656.1.025.2(497.11)

DOI:10.5937/tehnika1903443R

Glavni cilj ovog rada je da predstavi merenje tehničke efikasnosti linija mreže sistema javnog gradskog transporta putnika (JGTP). Za tu svrhu korišćena je neparametarska DEA analiza koja se uspešno koristi za kvantifikaciju tehničke i ekonomske efikasnosti. Rezultati pokazuju da linije na mreži mogu biti efikasne ili neefikasne u smislu postizanja kvaliteta koji se posmatra iz perspektive korisnika. Tako, za posmatrani slučaj sistema JGTP u Gradu Nišu, za sve neefikasne linije određeni su primeri dobre prakse, kao i nivo kvaliteta kao imperativ za ove linije.

Ključne reči: javni gradski transport putnika, tehnička efikasnost, DEA, mreža linija

1. UVOD

Sistem javnog gradskog transporta putnika (JGTP) predstavlja privrednu delatnost grada koja ima za cilj da zadovolji transportne potrebe i transportne zahteve njegovih korisnika. To se postiže mrežom linija sistema JGTP na kojoj se obavlja prevoz putnika u prostoru i vremenu upotrebom određene transportne tehnologije.

Transportna sredstva (vozila) su važan deo sistema JGTP koja omogućavaju prevoz korisnika na mreži linija. Generalno, ovaj sistem obavljajući svoju delatnost koristi veći broj vozila različitih eksploataciono-tehničkih karakteristika. Skup svih transportnih sredstava u okviru posmatranog sistema JGTP čini vozni park. Pored toga, za efikasno obavljanje rada ovog sistema potrebno je angažovanje i drugih odgovarajućih resursa kao što su ljudski, materijalni, finansijski i informacioni resursi.

U ovom radu, autori će biti usredsređeni na analizu

efikasnosti mreže linija sistema JGTP korišćenjem neparametarske DEA analize (engl. Data Envelopment Analysis) [1, 2]. Naime, cilj autora je da predstavi merenje tehničke efikasnosti kako mreže linija kao celine, tako i svake linije mreže posebno. S jedne strane, to omogućava da se proceni postojeće stanje upotrebe i potrošnje resursa na mreži linija, kao i da se ustanovi kako se resursi odražavaju na kvalitet pružanja usluga. S druge strane, optimizacija ključnih pokazatelja performansi sistema JGTP mogla bi da uspostavi ujednačeni kvalitet pružanja usluga na svakoj liniji posmatrane mreže. U radu, autori izводе zaključke primenjujući DEA na realnim podacima za 2015. godinu koji opisuju mrežu linija sistema JGTP u Gradu Nišu sa stanovišta kvaliteta.

Linija predstavlja osnovni element transportne mreže sistema JGTP na kom se obavlja proces transporta putnika po unapred određenim uslovima (trasa, stajališta, intervali vozila, cene usluga). Ona predstavlja najniži hijerarhijski nivo upravljanja sistemom JGTP koji funkcioniše tako što se vozila ciklično kreću između terminusa na liniji (početno i završno stajalište linije), vršeći izmenu putnika na stajalištima prema utvrđenoj dinamici i po unapred definisanim koordinatama u prostoru (trasom linije).

Svaka linija na mreži se karakteriše sa dve kategorije elemenata koji kvantitativno opisuju kvalitet pružanja usluga na liniji. To su statički i dinamički elementi linije. Statički elementi linije koji bitno utiču

Adresa autora: Predrag Ralević, Visoka tehnička škola strukovnih studija Uroševac, Leposavić, 24. novembra bb

e-mail: ralevicpredrag@gmail.com

Rad primljen: 28.05.2019.

Rad prihvaćen: 04.06.2019.

Napomena: *Za sadržaj i stavove iznete u radu odgovoran je autor i oni ne predstavljaju nužno zvaničan stav EBRD.

na pružanje usluga su trasa linije, smerovi kretanja vozila na liniji između terminusa, broj stajališta, kao i međustanično rastojanje. Dinamički elementi linije, poznati i kao elementi funkcionisanja linije, utiču na funkcionisanje linije prema transportnim zahtevima i projektovanim kvalitetom linije. Osnovni dinamički elementi linije su vremena realizacije transportnog procesa (vreme vožnje, vreme zadržavanja na stajalištima, vreme obrta) i brzine realizacije transportnog procesa (saobraćajna brzina, prevozna brzina, brzina obrta, eksploataciona brzina).

2. PREGLED LITERATURE

Postoje brojne primene neparametarske DEA analize kako u uslužnim, tako i u proizvodnim delatnostima. U radu [3] prikazana su istraživanja koja su povezana sa DEA, a koja su objavljena u periodu između 1978. i 2016. godine. Postoje brojni primeri upotrebe DEA za merenje efikasnosti u sektoru transporta. Na primer, u radu [4] je pronađeno više od 60 radova koji opisuju problematiku efikasnosti transportnog sektora u periodu između 1990. i 2008. godine. U [5] primenjena je DEA i diskutovani su rezultati efikasnosti 19 odabranih transportnih sistema u Evropi i Brazilu. U radu [6] korišćena je DEA za analizu efikasnosti autobusnog podsistema JGTP u Gradu Beogradu na uzorku od deset transportnih poslovnih sistema. Ovde su kao ulazni parametri upotrebljeni broj zaposlenih, potrošnja goriva i kapital kompanije. Dalje, u [7] primenom DEA je razvijen model za ocenu efikasnosti operatora javnog autobusnog transporta na osnovu maksimiziranja efikasnosti pruženih usluga uz istovremeno poštovanje društveno prihvatljivih ciljeva koji se odnose na minimalan broj saobraćajnih nezgoda, mali nivo buke, smanjenje emisije štetnih gasova i opadanje vrednosti sredstava. S druge strane, u radovima [8, 9] upotrebljavana je DEA da istraži odnos između efikasnosti i efektivnosti, tj. odnos između performansi transportnih sistema i ekonomije obima ovih sistema. U radu [10], pristup merenja efikasnosti na bazi DEA korišćen je za istovremeno zajedničko merenje efikasnosti na nivou linija sistema javnog transporta koje operator koristi i na nivou parametara poslovanja kompanije. Ovde, efikasnost se procenjuje u tri koraka, kroz ocenu efikasnosti transportno poslovnog sistema, zatim linija sistema javnog transporta, kao i optimalne alokacije zajedničkih ulaznih promenljivih.

U [11] kombinuju se DEA i geografski informacioni sistem (GIS) pri oceni efikasnosti autobuskih linija, uzimajući u obzir performanse autobuskih linija, s jedne strane, i karakteristike okruženja, s druge strane. DEA je korišćena za izračunavanje troškovne efikasnosti autobuske linije uključujući prostorni aspekt mreže linija sistema. Efikasnost je bazirana na elementima koje transportno preduzeće može da

kontrolise kao što su dužina linije, broj autobuskih stajališta, godišnje operativno vreme autobuske linije. Tražnja za uslugom je spoljašni faktor, van domašaja kontrole posmatranog preduzeća, i nije eksplicitno obuhvaćena procenom efikasnosti. Na primer, autobuska linija koja je operativno efikasna u svom poslovanju ne mora po pravilu da donosi najveću korist krajnjim korisnicima i obrnuto.

U [12] korišćena je DEA za optimizaciju sistema JGTP posebnim dvofaznim pristupom. Prva faza se sastoji od primene posebno prilagođenog DEA ulazno orijentisanog hibridnog modela sa ograničenim ulazima za procenu efikasnosti linija i za dobijanje preporuka za poboljšanje njihove efikasnosti. Na osnovu preporuka iz prve faze, u drugoj fazi na testiranoj mreži predložen je novi dispečerski plan za vozila na neefikasnim linijama.

3. METODOLOGIJA

Kao što je na to već ukazano u uvodu, za merenje tehničke efikasnosti linija JGTP korišćena je neparametarska DEA analiza. Za razliku od parametarskog pristupa, neparametarsko merenje efikasnosti ne zahteva da bude poznata proizvodna funkcija [13]. Međutim, za ovaj način određivanja efikasnosti mora da postoji skup jedinica odlučivanja (DMU) (engl. *Decision Making Unit*) čiji su rezultati rada (izlazi) proizvod korišćenih resursa (ulazi) i referentne tehnologije. Za potrebe ovog rada, svaka linija sistema JGTP predstavlja DMU. Naime, linija predstavlja osnovni element sistema JGTP, a skup svih linija čini mrežu linija sistema JGTP. Dakle, poštujući sistemski pristup, svaka linija kao sastavni deo mreže, može se posmatrati kao jedna DMU koja ostvaruje određeni kvalitet pružanja usluga. Merenje efikasnosti kvaliteta pružanja usluga linije na mreži primenom DEA je prihvatljiva jer istovremeno uzima u obzir više ulaza i više izlaza i objektivno ocenjuje kvalitet svake linije na mreži linija.

Neka DMU koristi ulaze koji su definisani sa $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) \in (R^+)^m$, za pravljenje izlaza koji su određeni sa $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_s) \in (R^+)^s$, pri čemu je R^+ skup pozitivnih realnih brojeva. Referentna tehnologija transformiše ulaze u izlaze, praveći kombinacije ulaza i izlaza koje su tehnološki izvodljive. Shodno tome, tehnologija može biti predstavljena proizvodnim skupom (engl. *Production Possibility Set*), kao što je to prikazano u (2.1).

$$T = \{(y, x) : x \text{ može da napravi } y\} \quad (2.1)$$

Prema Kopmansovoj definiciji, DMU za koju postoji $(y, x) \in T$ je efikasna ako, i samo ako, $(y', x') \notin T$ za $(y', x' - \Delta x) \geq (y, x - \Delta x)$, $\Delta x_i \geq 0$,

$i = 1, 2, 3, \dots, m$. Relacije poretka $\geq$ i $\leq$ nad skupovima oblika $(R^+)^n$ koriste se u ovom radu u skladu sa definicijom datom u [14].

S jedne strane, tehnologija predstavljena u (2.1), može biti prikazana i proizvodnim skupovima okarakterisanih sa ulazima (videti 2.6), koji za svaki $y \in (R^+)^s$ imaju ulazne izokvante (2.2), ulazne efikasne podskupove (2.3) i tri skupa koji zadovoljavaju $E(y) \subseteq I(y) \subseteq L(y)$.

$$I(y) = \{x : x \in L(y), \lambda x \notin L(y), \lambda < 1\}, \quad (2.2)$$

$$E(y) = \{x : x \in L(y), x' \notin L(y), x' \leq x\} \quad (2.3)$$

S druge strane, tehnologija predstavljena skupovima koji su okarakterisani sa izlazima (videti 2.7) i koji za svaki $x \in (R^+)^m$ imaju izlazne izokvante (2.4), ulazne efikasne podskupove (2.5) i tri skupa koji zadovoljavaju $E(x) \subseteq I(x) \subseteq P(x)$.

$$I(x) = \{y : y \in P(x), \lambda y \notin P(x), \lambda > 1\}, \quad (2.4)$$

$$E(x) = \{y : y \in P(x), y' \notin P(x), y' \geq y\}, \quad (2.5)$$

$$L(y) = \{x : (y, x) \in T\} \quad (2.6)$$

$$P(x) = \{y : (y, x) \in T\} \quad (2.7)$$

Dalje, referentna tehnologija se funkcionalno određuje korišćenjem ulazne ili izlazne funkcije odstojanja (engl. Input or Output Distance Function). Na osnovu [15, 16] tehnologija se određuje sa (2.8) i (2.9), respektivno.

$$D_I(y, x) = \max \{\lambda : (x/\lambda) \in L(y)\} \quad (2.8)$$

$$D_O(x, y) = \min \{\lambda : (y/\lambda) \in P(x)\} \quad (2.9)$$

Merenje tehničke efikasnosti sa ulaznom orijentacijom je definisano kao maksimalno radijalno smanjenje ulaza koje je izvodljivo sa datom tehnologijom i izlazima, dok je merenje efikasnosti sa izlaznom orijentacijom određeno kao maksimalna radijalna ekspanzija svih izlaza koja je izvodljiva sa datom tehnologijom i ulazima [17, 1]. Tako, merenje efikasnosti (TE) ulazne i izlazne orijentacije u maniru Debreu-Farrell merenja efikasnosti predstavljeno je relacijama (2.10) i (2.11), respektivno. Ako $x \in L(y)$, tada je $TE_I(y, x) \leq 1$, ako $x \in I(y)$, tada je $TE_I(y, x) = 1$. Obrnuto, ako $y \in P(x)$, tada je $TE_O(x, y) \geq 1$, ako $x \in I(x)$, tada je $TE_O(x, y) = 1$.

$$TE_I(y, x) = \min \{\theta : \theta x \in L(y)\} = \frac{1}{D_I(y, x)} \quad (2.10)$$

$$TE_O(x, y) = \max \{\phi : \phi y \in P(x)\} = \frac{1}{D_O(y, x)} \quad (2.11)$$

U ovom radu, zahtevane funkcije odstojanja za izračunavanje tehničke efikasnosti linija mreže sistema JGTP dobijene su primenom DEA. Detaljan pregled ove neparametarske analize predstavljen je u [18]. Konkretno, u radu, ulazne funkcije odstojanja za merenje tehničke efikasnosti dobijene su korišćenjem originalnog CCR DEA modela [2]. Optimizacija neefikasnih linija posmatranog sistema JGTP izvedena je primenom slak-baziranog modela (SBM) [19, 20].

4. UZORAK

Merenje tehničke efikasnosti linija sistema JGTP sprovedeno je na dva uzorka. Prvi uzorak je uključio 13 linija koje su smeštene u gradskoj zoni Grada Niša, dok se drugi uzorak sastoji od 36 linija koje opslužuju prigradska naselja u istom gradu. Eksploataciona dužina gradskih linija je oko 123 kilometra, dok je eksploataciona dužina prigradskih linija oko 600 kilometra. U ovoj mreži postoje dijametralne, radijalne i jedna kružna linija. Mreža ima sve prigradske linije radijalnog karaktera. Prosečno međustanično rastojanje na mreži gradskih linija iznosi 0.477 kilometara, a na mreži prigradskih linija ovo rastojanje je 0.849 kilometara.

Za potrebe sprovođenja merenja efikasnosti, svaka linija modelirana kao DMU opisana je sa 4 ulazne promenljive i 5 izlaznih promenljivih. Prilikom izbora ulaznih i izlaznih promenljivih, autori su se rukovodili principima relevantnosti, konzistentnosti, dostupnosti i verodostojnosti podataka, uzimajući pri tom u obzir određene statičke i dinamičke karakteristike linija, kao i prihode od prodatih karata u odnosu na procenjeni broj stanovnika na gravitacionom području date linije. Shodno tome, ulazne promenljive su: eksploataciona dužina linije, vreme obrta, interval kao vremenski razmak između prolaska dva uzastopna vozila kroz karakterističnu tačku (preseka linije) i broj časova rada u toku radnog dana. Eksploataciona dužina linije predstavlja zbir svih međustaničnih rastojanja u smeru linije.

Vreme obrta je vremenski period između dva uzastopna polaska istog vozila kroz karakterističnu tačku. Konačno, broj časova rada u toku radnog dana predstavlja sumu časova rada svih vozila na radu na posmatranoj liniji. Izlazne promenljive su: koeficijent gustine stajališta, broj vozila na radu, bruto transportni rad na liniji, proizvodna efikasnost i prihod od osnovne delatnosti. Prvi izabrani izlaz, koeficijent gustine stajališta predstavlja važan pokazatelj pristupačnosti sistema u prostoru i može se izraziti kao odnos broja stajališta na liniji i dužine linije. Broj vozila na radu zavisi od transportnih zahteva u pojedinim karakterističnim periodima dana (vršni period, vanvršni period), vremena obrta u pojedinim karakterističnim periodima vremena, željenog nivoa komfora putnika i

optimalnog kapaciteta vozila. Ova promenljiva predstavlja ukupan broj vozila na radu na posmatranoj liniji sistema JGTP svih tehničkoeksploatacionih karakteristika u određenim periodima vremena.

Bruto transportni rad na liniji predstavlja sposobnost sistema JGTP da obavi određeni transportni rad u jedinici vremena i predstavlja ukupnu količinu ponuđenih usluga u toku posmatranog vremenskog perioda. Proizvodna efikasnost predstavlja odnos

između planiranog transportnog rada i posmatranog broja vozila na radu. Poslednja izlazna promenljiva, prihod od osnovne delatnosti u sistemu JGTP predstavlja broj putnika koji se transportuje po srednjoj ceni jedinice transportnog rada. Opisna statistika za ulazne i izlazne promenljive posmatranog sistema JGTP je prikazana u tabeli 1. Ova tabela pokazuje maksimalne, minimalne i prosečne vrednosti za izabrane ulaze i izlaze za 2015. godinu.

Tabela 1. Statistika ulaznih i izlaznih parametara za gradske i prigradske linije za 2015. godinu [21]

Parametri mreže	Gradske linije			Prigradske linije		
	MAX	MIN	Prosek	MAX	MIN	Prosek
Ulazni parametri						
Eksploataciona dužina linije (km)	40.44	8.53	18.02	64.18	13.52	33.24
Vreme obrta (min)	150.00	54.00	76.85	140.00	40.00	79.94
Interval između vozila na liniji za radni dan (min)	60.00	6.00	17.00	140.00	23.33	68.09
Broj časova rada u toku radnog dana (h)	136.50 (13)	12.50 (13)	78.63	25.70 (36)	0.70 (36)	10.33
Izlazni parametri						
Koeficijent gustine stajališta (stajališta/km)	2.58	1.76	2.24	1.84	0.88	1.28
Broj vozila na radu za radni dan (vozila)	12	1	5.92	3	1	1.31
Bruto transportni rad na liniji (radni dan) (vozilo-km)	2712.90	163.60	1288.01	653.80	17.70	248.00
Proizvodna efikasnost (vozilo-km /vozilu)	271.29	163.60	215.08	449.30	17.70	188.49
Prihod od prodaje karata (EUR)	1267.862	45.427	547.772	174.362	2.217	44.780

Napomena: Broj u zagradi predstavlja ukupan broj linija

Tabela 1 pokazuje da najduža gradska linija (u oba smera) iznosi 40.44 kilometra, a najkraća iznosi 8.53 kilometra, dok je najduža prigradska linija 64.18, a najkraća 13.52 kilometra. Kada je reč o vremenu obrta, u gradskom saobraćaju najveće vreme obrta iznosi čak 150 minuta (u prigradskom 140 min), što može biti posledica većih saobraćajnih zagušenja u centralnim gradskim zonama, kao i većeg broja stajališta na linijama u oba smera (90 za gradske linije u odnosu na 70 u prigradskom prevozu). Prosečna vrednost minimalnog intervala između vozila na linijama sistema JGTP Grada Niša iznosi 17 min, dok u prigradskom transportu ova vrednost iznosi 68.09 min.

Prosečna vrednost koeficijenta gustine stajališta za gradski transport (2.24 stajališta/km) skoro je dvostruko viša od koeficijenta gustine stajališta u prigradskom transportu (1.28 stajališta/km), dok je ovaj odnos kod bruto transportnog rada skoro petostruko veći u sistemu gradskog transporta (1288.01 vozilo-km u gradskom prema 248 vozilo-km u prigradskom transportu). Takođe, proizvodna efikasnost je

mnogo viša u sistemu gradskog transporta i kreće se između 163.60 i 271.29 vozilo-km/vozilu u odnosu na opseg od 17.7 do 449.3 vozilo-km/vozilu u prigradskom transportu. Prihod od prodaje karata, koji je očekivano značajno viši u sistemu gradskog transporta, potvrđuje koncentraciju transportnog tržišta u centralnim gradskim područjima.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Analitički rezultati merenja tehničke efikasnosti gradskih i prigradskih linija posmatranog sistema JGTP u Gradu Nišu izvedeni su na osnovu metodologije koja je opisana u sekciji 3 ovog rada. Rezultati merenja efikasnosti gradskih linija predstavljeni su u tabeli 2, dok su rezultati merenja efikasnosti prigradskih linija prikazani u tabeli 3.

Rezultat iz tabele 2 pokazuje da 10 od 13 gradskih linija imaju efikasan status jer imaju ocenu efikasnosti i sopstveni benčmark jednak jedinici, dok su za ove linije svi ostali benčmarkovi $\lambda_j = 0$. To ukazuje da ove linije imaju približno ujednačen kvalitet pružanja

usluga na mreži gradskih linija. S druge strane, rezultati iz tabele 2 pokazuju da su linije numerisane sa brojevima 4, 10 i 13 neefikasne.

Posmatrano sa stanovišta kvaliteta pružanja usluga na liniji, ove linije imaju mogućnost da poboljšaju kvalitet do nivoa kvaliteta kakav se prepoznaje kod

efikasnih linija. Dalje, rezultati iz tabele 2 za svaku neefikasnu liniju pokazuju najprihvatljivije benčmarkove. Ovi benčmarkovi u suštini predstavljaju dobar primer kakav nivo kvaliteta treba da imaju neefikasne linije kako bi kvalitet na celoj mreži linija bio ujednačen.

Tabela 2. DEA rezultati za gradske linije posmatranog sistema JGTP u Gradu Nišu

Gradske linije		Ocene efikasnosti	Benčmarkovi				
		θ	$\sum \lambda_j$	λ_j			
1.	Niška banja – Minovo Naselje	Efikasna	1.000				
2.	Bubanj – Donja Vrežina	Efikasna	1.000				
3.	Naselje Ratko Jović – Brzi brod	Efikasna	1.000				
4.	Čalije – Bubanj	0.96177	1.054	0.105 (Linija 3)	0.173 (Linija 5)	0.577 (Linija 9)	0.199 (Linija 12)
5.	Železnička stanica – Somborska	Efikasna	1.000				
6.	Železnička stanica – Duvanište – Skopska	Efikasna	1.000				
7.	Sarajevska – Kalač brod	Efikasna	1.000				
8.	Novo groblje – Grabovačka reka	Efikasna	1.000				
9.	Mokranjčeva – Trg KA – Naselje B. Bjegović	Efikasna	1.000				
10.	Naselje 9. maj – Čele kula	0.98623	1.071	0.358 (Linija 3)	0.328 (Linija 5)	0.320 (Linija 6)	0.064 (Linija 12)
11.	Njegoševa – Donji Komren	Efikasna	1.000				
12.	Trg KA – Bulevar Nemanjića – Čele Kula – Delijski Vis	Efikasna	1.000				
13.	Kružna linija 34	0.74160	1.108	0.395 (Linija 1)	0.133 (Linija 2)	0.133 (Linija 3)	0.447 (Linija 8)
Prosečna vrednost		0.97612					

Na primer, efikasnost od 0.74160 za Liniju 13 koja je poznata kao „Kružna linija 34“ je dobijena koristeći prosečne težinske koeficijente gradskih linija numerisanih sa 1, 2, 3 i 8 kao odgovarajućih benčmarkova. Može da se uoči da je Linija 3 (Naselje Ratko Jović – Brzi brod) jedna od 10 gradskih linija koja ima najveći kvalitet, kao i da se ova linija uvek pojavljuje kao odgovarajući benčmark kod neefikasnih linija.

Na nivou mreže gradskih linija posmatranog sistema JGTP, prosečna efikasnost je oko 97% (videti tabelu 2). Generalno, ovo pokazuje da je gradska mreža ujednačenog kvaliteta prema izabranim ulaznim i izlaznim parametrima, uz napomenu da su rezultati pronašli određene linije gde je moguće poboljšati kvalitet.

Kada se radi o prigradskim linijama sistema JGTP u Gradu Nišu, prema rezultatima iz tabele 3, situacija je drugačija nego kod gradskih linija. Naime, dobijeni rezultati pokazuju da je mreža prigradskih linija neujednačenog kvaliteta i da je potrebno da se na većini prigradskih linija značajno unapredi kvalitet. Konkretno, za svaku od ovih linija izračunata je ocena efikasnosti.

Dodatno, za svaku neefikasnu liniju određen je primer najbolje prakse (videti poslednju kolonu tabele 3). Na nivou cele prigradske mreže, prosečna efikasnost je oko 93%.

Na nivou pojedinačnih linija prigradske mreže, postoje značajne varijacije efikasnosti koje su između 70% i 100%.

Tabela 3. DEA rezultati za prigradske linije posmatranog sistema JGTP u Gradu Nišu

Prigradske linije		Ocene efikasnosti	Benčmarkovi					Najbolji benčmark
		θ	$\sum \lambda$	λ_j				
1.	PAS Niš – Vinik – Kamenica – Brenica	0.87201	1.099	0.645	0.454	0.000	0.000	DMU 28
2.	PAS Niš – Cerje	0.72295	1.260	0.669	0.079	0.512	0.000	DMU 4
3.	PAS Niš – Knez Selo	Efikasna	1.000					–
4.	PAS Niš – Gornji Matejevac	Efikasna	1.000					–
5.	PAS Niš – Jasenovik – Vrelo	0.94144	1.108	0.322	0.509	0.240	0.037	DMU 8
6.	PAS Niš – Oreovac	0.87387	1.262	0.223	0.394	0.645	0.000	DMU 11
.	PAS Niš – Gornja Vrežina	Efikasna	1.000					–
8.	PAS Niš – Sićevo	Efikasna	1.000					–
9.	PAS Niš – Kunovica – Bancarevo	0.80262	1.020	0.392	0.629	0.000	0.000	DMU 24
10.	PAS Niš – Ravni Do	0.96714	1.263	0.181	0.501	0.580	0.000	DMU 24
11.	PAS Niš – Ostrovica	Efikasna	1.000					–
12.	PAS Niš – Gornja Studena	0.94558	1.715	1.420	0.159	0.135	0.000	DMU 20
13.	PAS Niš – Jelašnica	0.99480	1.000	0.385	0.040	0.575	0.000	DMU 24
14.	PAS Niš – Vukmanovo	Efikasna	1.000					–
15.	PAS Niš – Bebatovo	Efikasna	1.000					–
16.	PAS Niš – Gabrovac	Efikasna	1.000					–
17.	PAS Niš – Vukmanovo – Berbatovo – PAS Niš	0.69775	1.218	0.435	0.514	0.268	0.000	DMU 20
18.	PAS Niš – Donje Vlase	0.88345	1.113	0.661	0.091	0.361	0.000	DMU 4
19.	PAS Niš – Čokot – Međurovo – Naselje „9. maj“	Efikasna	1.000					–
20.	PAS Niš – Lalinac	Efikasna	1.000					–
21.	PAS Niš – Trupale	0.84413	1.049	0.384	0.141	0.524	0.000	DMU 33
22.	PAS Niš – Popovac	Efikasna	1.000					–
23.	PAS Niš – Vrtište	0.92423	1.155	0.206	0.695	0.254	0.000	DMU 20
24.	Mezgaja – Medoševac – PAS Niš	Efikasna	1.000					–
25.	PAS Niš – Toponica – Mezgaja – Gornja Trnava	Efikasna	1.000					–
26.	PAS Niš – Vrtište – Gornja Trnava	0.95535	1.000	0.089	0.911	0.000	0.000	DMU 24
27.	PAS Niš – Leskovik	0.72475	1.085	0.320	0.137	0.629	0.000	DMU 33
28.	PAS Niš – Hum	Efikasna	1.000					–
29.	PAS Niš – Kravlje	0.90853	1.490	0.306	0.894	0.290	0.000	DMU 11
30.	PAS Niš – Paligrace	0.94678	1.161	0.219	0.385	0.278	0.279	DMU 8
31.	PAS Niš – Sečanica	0.99007	1.288	0.793	0.475	0.019	0.000	DMU 20
32.	PAS Niš – Bujanj Selo (kružna)	0.90429	1.209	0.418	0.791	0.000	0.000	DMU 20
33.	Trg KA – Mramor	Efikasna	1.000					–
34.	PAS Niš – Mramorski Potok	0.98499	1.283	0.389	0.146	0.749	0.000	DMU 33
35.	PAS Niš – Lazarevo Selo	0.81237	1.139	0.343	0.079	0.717	0.000	DMU 33
36.	PAS Niš – Supovac – Sečanica	0.98032	1.320	0.640	0.680	0.000	0.000	DMU 20
	Prosečna vrednost	0.93548						

Tako, najmanji kvalitet imaju Linija 17 (PAS Niš – Vukmanovo – Berbatovo – PAS Niš) i Linija 2 (PAS Niš – Cerje), a primer najbolje prakse za ove dve linije su Linija 20 (PAS Niš – Lalinac) i Linija 4 (PAS Niš – Gornji Matejevac), respektivno. Pored Linije 17 i Linije 2, imperativ da poboljšaju nivo kvaliteta imaju i sve druge neefikasne linije. Ovih linija, prema rezultatima iz tabele 3, ima ukupno 21. S druge strane, manje od polovine prigradskih linija, 15 od 36 linija ima ujednačen kvalitet - efikasan status i one uspostavljaju nivo kvaliteta koji treba da postignu sve ostale neefikasne linije. Ove linije su numerisane brojevima 1, 2, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 17, 18, 21, 23, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 35 i 36. Na primer, nazivi nekih od ovih linija su „PAS Niš – Knez Selo“, „PAS Niš – Vukmanovo“, „PAS Niš – Popovac“, „PAS Niš – Hum“ itd.

Dalje, cilj autora bio je da pronađe ciljne vrednosti za ulazne i izlazne parametre kod svake neefikasne linije na celoj mreži sistema JGTP. To je urađeno korišćenjem slak-baziranog modela na način kao što je to utvrđeno u radu Tone (2002a) i Tone (2002b). Konkretno, rezultati optimizacije neefikasnih gradskih linija posmatranog sistema JGTP ukazuju da na Liniji

4 (Čalije – Bubanj), Liniji 10 (Naselje 9. maj – Čele kula) i Liniji 13 (Kružna linija 34A i 34B) potrebno je smanjiti eksploatacionu dužinu linije. Dalje, za slučaj Linije 10 potrebno je smanjiti minimalni interval u toku radnog dana. Na primer, ovo bi se moglo postići redefinisanjem trase linije kako bi se materijalizovala izmena koeficijenta gustine stajališta. Konačno, rezultati optimizacije ukazuju da je za neefikasne linije u sistemu posmatranog JGTP u vršnim časovima opterećenja potrebno povećati broj vozila na radu, na primer, za Liniju 13 za dva vozila. Na ovaj način ostvario bi se veći bruto transportni rad na liniji i povećala proizvodna efikasnost.

Uzimajući u obzir rezultate optimizacije ulaznih i izlaznih parametara za svaku neefikasnu gradsku i prigradsku liniju posmatranog sistema JGTP, dobijena je optimalna mreža linija. Ova mreža linija obezbeđuje da postoji ujednačen kvalitet pružanja usluga sa stanovišta gradske i prigradske mreže. Kada se posmatra gradska mreža, sve linije na ovako uspostavljenoj mreži postižu ujednačen kvalitet. Pored toga, isto važi i za slučaj mreže prigradskih linija. Opisna statistika ovako određene optimalne mreže predstavljena je u tabeli 4.

Tabela 4. Opisna statistika ulaznih i izlaznih parametara za gradske i prigradske linije optimalne mreže linija sistema JGTP u Gradu Nišu

Parametri mreže	Gradska mreža linija		Prigradska mreža linija	
	Prosek	Promena (%)	Prosek	Promena (%)
Ulazni parametri				
Eksploataciona dužina linije (km)	17.2	4.6 ↓	31.2	6.1 ↓
Vreme obrta (min)	75.8	1.4 ↓	75.9	5.0 ↓
Interval između vozila na liniji za radni dan (min)	16.9	0.7 ↓	67.3	1.1 ↓
Broj časova rada u toku radnog dana (h)	78.6	0.0	10.3	0.0
Izlazni parametri				
Koeficijent gustine stajališta (stajališta/km)	2.3	4.1 ↑	2.0	52.3 ↑
Broj vozila na radu za radni dan (vozila)	6.2	4.8 ↑	1.7	29.8 ↑
Bruto transportni rad na liniji (radni dan) (vozilo·km)	1364.8	6.0 ↑	262.1	5.7 ↑
Proizvodna efikasnost (vozilo·km /vozilu)	233.4	8.5 ↑	202.1	7.2 ↑
Prihod od prodaje karata (EUR)	607863.3	11.0 ↑	59998.0	34.0 ↑

Dakle, da bi cela mreža linija sistema JGTP postala optimalna u smislu kvaliteta, potrebno je određeno poboljšanje kvaliteta svake neefikasne linije posebno.

To utiče da posmatrana mreža linija ima drugačije prosečne vrednosti ulaznih i izlaznih parametara nego

postojeća mreža. U kolonama 2 i 4 tabele 4 predstavljene su optimalne prosečne vrednosti za ulazne i izlazne parametre gradske i prigradske mreže, respektivno. U kolonama 3 i 5 tabele 4 data su potrebne promene u odnosu na postojeću mrežu linija. U ovim

kolonama, strelice na dole pokazuju određena procentualna smanjenja postojećih parametara, dok strelice na gore označavaju određena procentualna povećanja. Tako, postojeću prosečnu eksploatacionu dužinu linija kod gradskog prevoza je potrebno smanjiti za 4.6%, dok je u prigradskom transportu ovo smanjenje nešto više i iznosi 6.1%. Takođe, rezultati ukazuju na određeno prosečno smanjenje vremena obrta, kao i smanjenje minimalnog intervala između vozila na liniji. Interesantno je da se primeti da na linijama i gradskog i prigradskog transporta nije neophodno povećavati broj časova rada u toku radnog dana.

Obrnuto, kada se posmatraju izlazni parametri, ujednačen nivo kvaliteta zahteva povećanje koeficijenta gustine stajališta za 4.1% i 52.3% postojećih vrednosti mreže gradskog i prigradskog prevoza, respektivno. Pored toga, optimalna mreža zahteva i povećanje broja vozila na radu, pogotovo na mreži prigradskih linija i to prosečno za 29.8%, što bi dovelo do povećanja bruto transportnog rada i proizvodne efikasnosti. Kao posledica toga, prosečno povećanje prihoda na nivou gradskog i prigradskog sistema trebalo bi da se poveća za 11% za gradski i 34% za prigradski transport putnika.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu korišćena je neparametarska DEA analiza za merenje tehničke efikasnosti mreže linija sistema javnog gradskog transporta putnika (JGTP). Tako, pokazano je kako mogu da se odrede preporuke za poboljšanje svake linije na mreži koja je tehnički neefikasna - linije koje postižu manji nivo kvaliteta sagledan iz perspektive korisnika. Vrednovanje kvaliteta linija na mreži linija sistema JGTP pomoću DEA je prihvatljivo jer istovremeno ova metoda uzima u obzir višestruke ulaze i višestruke izlaze i objektivno procenjuje kvalitet svake linije na mreži. Linije manjeg kvaliteta su određene na osnovu izračunatih ocena tehničke efikasnosti, i za ove linije su pronađeni primeri dobre prakse kao uzori kojima treba da teže neefikasne linije. Zapravo, linije koje su primeri dobre prakse postižu nivo kvaliteta koji treba da bude imperativ za neefikasne linije. Na taj način, cela posmatrana mreža linija sistema JGTP, u našem slučaju to je bila mreža linija sistema JGTP u Gradu Nišu, imala bi ujednačen kvalitet pružanja usluga sa stanovišta korisnika.

U radu je pokazano kako predložena metodologija upotrebljena na stvarnim podacima može da se koristi za poboljšanje kvaliteta mreže linija sistema JGTP. Rezultati i uspeh ove metodologije će biti bolji ako se obezbede pouzdani podaci o kvalitetu mreže linija. U vezi s tim, buduća istraživanja mogla bi da obuhvate razmatranje potrebnih troškova za predloženu mrežu linija, kao i fizičku mogućnost za poboljšanje kvaliteta svake neefikasne linije na mreži posebno.

LITERATURA

- [1] Farrell M. J, The measurement of productive efficiency, *Journal of Royal Statistical Society A*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-290, 1957.
- [2] Charnes A, Cooper . , Rhodes E, Measuring the of decision making units, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444, 1978.
- [3] Ali E, Guo-liang Y, A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 61, No. 1, pp. 4-8, 2018.
- [4] Barnum D. T, *Bibliography of urban transit DEA publications*, 2009. Dostupno na: <http://ssrn.com/abstract=1350583>. (2009).
- [5] Sampaio B. R, Neto O. L, Sampaio Y, Efficiency analysis of public transport systems: lessons for institutional planning, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 42, No. 3, pp. 445–454, 2008.
- [6] Ćiraković L, Bojović N, Milenković M, Analiza efikasnosti autobuskog podsistema javnog transporta putnika u gradu Beogradu korišćenjem DEA metode. *Tehnika*, Vol. 61, No. 6, pp. 1032–1039, 2014.
- [7] Sheth C, Triantis K, Teodorovic D, Performance evaluation of bus routes: a provider and passenger perspective, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 43, No. 4, pp. 453–478, 2007.
- [8] Karlaftis M, Investigating transit production performance: a programming approach, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 37, No. 3, pp. 225–240, 2003.
- [9] Karlaftis M. A, DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, No. 2, pp. 354–364, 2004.
- [10] Chiou Y. C, Lan L. W, Yen B. T. H, Route-based data envelopment analysis models, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 48, No. 2, pp. 415–425, 2012.
- [11] Lao Y, Liu L, Performance evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographic information systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 33, No. 4, pp. 247–255, 2009.
- [12] Roháčová V, A DEA based approach for optimization of urban public transport system, *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 23, No. 1, pp. 215–233, 2013.

- [13] Aigner D, Lovell CAK, Schmidt S, Formulation and estimation of stochastic frontier production function models, *Journal of Econometrics*, Vol. 6, No. 1, pp. 21-37, 1977.
- [14] Koopmans T. C, An analysis of production as an efficient combination of activities, in: Koopmans TC. (Ed.), *Activity analysis of production and allocation*, Cowles commission for research in economics Monograph No. 13, John Wiley and Sons, New York, 1951.
- [15] Shephard R. W, *Cost and production functions*, Princeton University Press, Princeton, 1953.
- [16] Shephard R. W, *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press, Princeton, 1970.
- [17] Debreu G, The coefficient of resource utilization, *Econometrica*, Vol. 19, No. 3, pp. 273-292, 1951.
- [18] Charnes A, Cooper W. W, Lewin Y, Seiford L. M, *Data envelopment analysis: theory, methodology and applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994.
- [19] Tone K, A slack-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, Vol. 143, No. 1, pp. 32-41, 2002a.
- [20] Tone K, A slack-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, Vol. 130, No. 3, pp. 498-509, 2002b.
- [21] Zlatković M, *Model za analizu opravdanosti projekata javno-privatnog partnerstva u sistemu javnog gradskog transporta putnika*, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2018.

SUMMARY

MEASURING TECHNICAL EFFICIENCY OF URBAN PUBLIC TRANSPORT SYSTEM NETWORK BY USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

The objective of this paper is to present technical efficiency measurement of urban public transport system (UPTS) network. For this purpose, Data Envelopment Analysis (DEA) successfully applying to measure technical and economic efficiency is used. The results show that public transport network lines can be efficient or inefficient in terms of achieving quality of service from the user's perspective. Thus, in the case of City of Niš, for all inefficient lines on the whole UPTS network, the examples of good practice as well as the quality level of service as imperative for these lines are determined.

Key words: urban public transport system, technical efficiency, DEA, network lines