

INDIKATORI KVALITETA TRANSPORTNOG SISTEMA

TRANSPORTATION SYSTEM QUALITY INDICATORS

Dr. Mirsad Kulović
Tennessee Department of Transportation
Nashville, TN 37243, USA

Ključne riječi: Transport, kvalitet, indikator

REZIME

Transport ima uticaj na sve druge ljudske aktivnosti u tolikoj mjeri da se često karakteriše kao generator ili kao kočnica razvoja zavisno od nivoa njegove efikasnosti, pouzdanosti, ekonomičnosti i sigurnosti. Današnji transportni sistemi su izuzetno kompleksni i zahtijevaju sistemski pristup i primjenu savremenih tehničko-tehnoloških metoda u njihovom planiranju i upravljanju. Korisnici transportnog sistema, transportni stručnjaci, političari i ostali traže nove načine mjerenja i izražavanja kvaliteta transportnog sistema. Da bi se to postiglo potrebno je pratiti podake o mobilnosti i definisati specifične indikatore (strateške i operativne) koji će omogućiti mjerenje efikasnosti transportnih planova i programa. U ovom radu su prezentirani parametri koji mogu iskazati nivo mobilnosti, sigurnosti, ekonomske koristi i zaštite okoline. Ovi parametri, ako se adekvatno odaberu, mogu biti inicijalni indikatori kvaliteta transportnog sistema.

Keywords: Transportation, quality, indicator

ABSTRACT

Transport has such great influence on all others human activities that its often characterized as generator or obstacle of development, depending of its level of efficiency, reliability, productivity and safety. Today's transportation systems are exceptionally complex and require systematic approach and application of advanced technique-technological methods in their planning and management. The transportation system users, transportation professionals, politicians and others are seeking the new ways of measuring and expressing of quality of transportation system. In order to achieve that it is necessary to monitor mobility data and define specific indicators (strategic and operational) which will enable measuring effectiveness of transportation plans and programs. The parameters, which can express the level of mobility, safety, economic benefit and environmental protection, are presented in this paper. These parameters, if adequately selected, could be initial transportation system quality indicators.

1. UVOD

Transport ima uticaj na sve druge aktivnosti u tolikoj mjeri da se često karakteriše kao generator ili kočnica razvoja zavisno od njegove efikasnosti, pouzdanosti ekonomičnosti i sigurnosti. Traženje načina mjerenja i iskazivanja kvaliteta transportnog sistema proizilazi iz potrebe da se odgovori na sljedeća pitanja:

- ◆ Kako poboljšati transportni sistem u cilju boljeg opsluživanja građana i privrede?
- ◆ Šta dobijamo investiranjem u transport?
- ◆ Investiramo li u transport na najefikasniji način?
- ◆ Koje indikatore koristiti za iskazivanje kvaliteta transportnog sistema?

Za odgovor na ova i slična pitanja potrebno je imati pouzdane podatke o relevantnim parametrima transportnog sistema i definisane specifične indikatore koji će omogućiti mjerenje efikasnosti transportnih planova i programa zavisno od postavljenih ciljeva. Transportni planovi su obično koncentrisani na četiri ključne oblasti: **mobilnost, sigurnost, ekonomski prosperitet i zaštitu okoline** koje u svojoj ukupnosti i značaju za stanovništvo predstavljaju indikatore kvaliteta života na određenom prostoru.

2. MOBILNOST

Mobilnost se definiše kao jednostavnost (lahkoća) sa kojom se ljudi ili stvari premještaju sa jednog na drugo mjesto na posmatranom području. Ova definicija ističe mobilnost posmatranu sa aspekta korisnika transporta i opisuju se sljedećim elementima: ^[1]

- ◆ **Kvantitet putovanja** – odgovara obimu korištenja transportnog sredstva, objekta ili transportne usluge
- ◆ **Kvalitet putovanja** – odražava uslove putovanja i efekte zastoja
- ◆ **Pristupačnost** – izražava lahkoću (jednostavnost) sa kojom se ostvaruje veza u multimodalnom transportnom sistemu
- ◆ **Prilagođenost** – izražava prilagođenost transportnog sistema sadašnjim potrebama, odnosno pokazuje da li je sistem pravilno dimenzionisan i postoji li mogućnost njegovog prilagođavanja budućim potrebama.

U tabeli 1 prikazani su indikatori za svaki od navedenih elemenata mobilnosti i njihove definicije.

TABELA 1. INDIKATORI MOBILNOSTI I NJIHOVE DEFINICIJE.

Mobilnost	Indikator	Definicija
Kvantitet putovanja	Putnik-kilometar Tona-kilometar Vozilo-kilometar Broj putovanja po osobi	PGDS* x dužina x okupiranost vozila PGDS x dužina x % teretnih vozila PGDS x dužina N
Kvalitet putovanja	Prosječna brzina Zastoj Prosječno vrijeme vožnje Prosječno vrijeme putovanja Pouzdanost Nivo usluge	$V = L/T^{**}$ Z –prosječno vrijeme zastoja L/V L/V+Z % prihvatljivog vremena putovanja A, B, C, D, E, F***
Pristupačnost	Veza sa intermodalnim objektima Udaljenost mjesta stanovanja Udaljenost mjesta rada Udaljenost industrijskih i skladišnih objekata % Biciklističkih staza % Pješačkih staza	% u granicama do 5 km (1km u gradovima) % dužine biciklističkih staza % dužine pješačkih staza (trotoara)
Prilagođenost	% Sistema koji je prezasićen Gustina saobraćajnog toka Trajanje prezasićenosti sistema	% dužine sa nivoom usluge E ili F Broj vozila po traci po kilometru Traka x km x sat pri nivou usluge E ili F

*PGDS-Prosjedan godišnji dnevni saobraćaj

**Brzina se određuje na osnovu Highway Capacity Manual (HCM) modela ili mjerenjem na terenu (L- dužina; T-vrijeme)

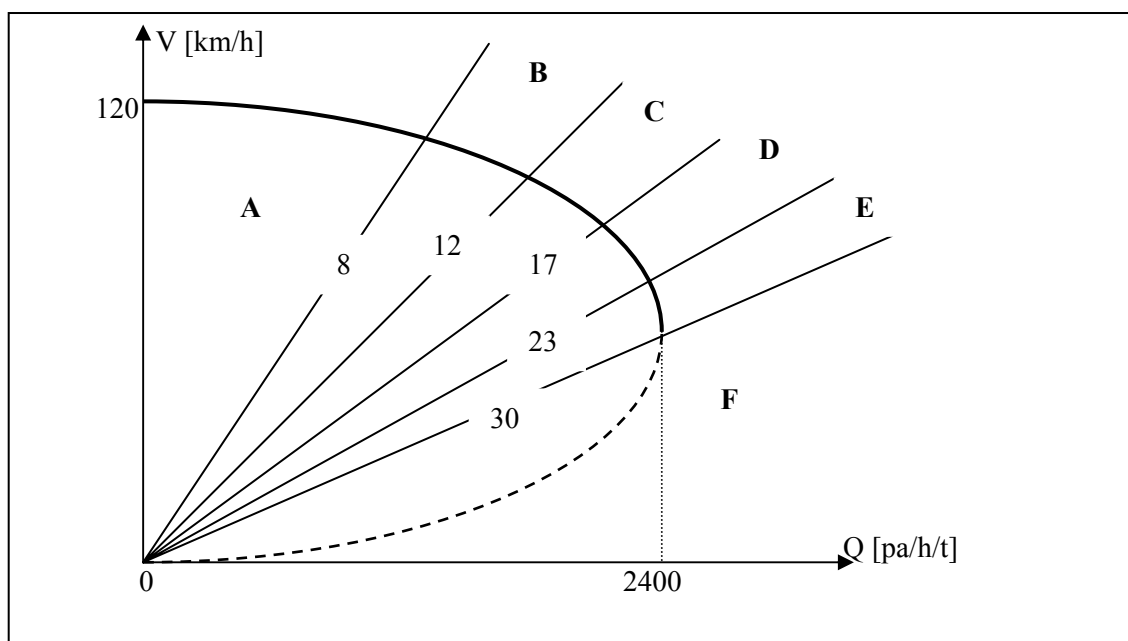
***Nivoi usluge prema HCM

2.1. Nivo usluge

Koncept nivoa usluge u transportu koristi kvalitativne mjere koje karakterišu operativne uslove u saobraćajnim tokovima i percepciju tih karakteristika od strane učesnika u transportu. Svaki pojedinačni nivo usluge karakteriše ove uslove kroz faktore kao što su brzina, vrijeme putovanja, sloboda manevrisanja, prekid kretanja, udobnost i pogodnost. Definirano je šest nivoa usluge od A do F za sve vrste saobraćajnih objekata za koje je razrađena procedura proračuna u Highway Capacity Manual (HCM).^[2] Nivo usluge A predstavlja najbolje, a nivo usluge F najgoru operativnu uslove. U tabeli 2. prikazane su mjere efektivnosti koje se koriste za definisanje nivoa usluge za razne vrste saobraćajnih objekata.

TABELA 2. MJERE EFEKTIVNOSTI KOJE SE KORISTE ZA DEFINISANJE NIVOA USLUGE.

Vrsta objekta	Mjere efektivnosti
Auto-put i put sa više saobraćajnih traka	Gustina (putničkih automobila/km/traci)
Put sa dvije saobraćajne trake	Vremenski zastoje (%)
Signalisane i nesignalisane raskrsnice	Kontrolni zastoje (sekundi/vozilo)
Gradska ulica ili arterija	Prosječna brzina putovanja (km/h)
Pješački objekti	Prosječna brzina (m/sekundi) ili prostor (m^2/p) ili pješački tok (p/min/m)
Biciklistički objekti	Kontrolni zastoje (sekundi/biciklu) ili prosječna brzina putovanja (km/h)
Javni prevoz	Prosječna brzina putovanja (km/h), frekvencija vozila, raspoloživost, popunjenost vozila, komfor, pouzdanost (pridržavanje reda vožnje)



SLIKA 1. UOPŠTENJA ZAVISNOST BRZINE I PROTOKA SA ODGOVARAJUĆIM NIVOIMA USLUGE I GUSTINAMA SAOBRAĆAJNOG TOKA ZA OSNOVNU DIONICU AUTO-PUTA.

Brzina, protok i gustina su osnovni parametri koji definišu saobraćajni tok. Gustina vozila u jednoj saobraćajnoj traci na dužini puta od jednog kilometra je parametar kojim se izražava nivo usluge na auto-putevima i putevima sa više saobraćajnih traka. Primjeri graničnih vrijednosti gustine za osnovnu dionicu auto-puta za pojedine nivoe usluge prikazane su kosim linijama na dijagramu brzine-V i protoka-Q (Slika 1.) i dati su u tabeli 3.

TABELA 3. NIVOI USLUGE I GRANIČNE VRIJEDNOSTI GUSTINE SAOBRAĆAJNOG TOKA ZA OSNOVNU DIONICU AUTO-PUTA

Nivo usluge	A	B	C	D	E	F
Gustina (pa/km/t)	0 - 8	> 8 - 12	>12 - 17	>17 - 23	>23 - 30	>30

3. SIGURNOST

Problem sigurnosti transporta prešao je iz nacionalnih okvira u problem cjelokupnog svjetskog društva. Nerazvijene zemlje i zemlje u tranziciji su u izuzetno teskoj situaciji zbog ograničenih fondova za preventivno djelovanje u oblasti sigurnosti transporta. Društveno-ekonomski troškovi saobraćajnih nezgoda u ovim zemljama iznose od 1,5 do 2,5 % društvenog proizvoda. Glavni razlozi koji uzrokuju veliki broj saobraćajnih nezgoda su: loš kvalitet puteva, stara vozila i njihovo neadekvatno održavanje, veliko povećanje motorizacije kombinovano sa neiskustvom vozača i nedostatak lične i institucionalne odgovornosti. [3] Izveštaji o saobraćajnim nezgodama i studije sigurnosti pokazuju da su oko 30-40 % svih poginulih u saobraćajnim nezgodama nemotorizovani učesnici u saobraćaju, posebno pješaci od kojih je većina siromašni dio stanovništva. Gradska područja učestvuju sa 45-65% (zavisno od države) u svim težim saobraćajnim nezgodama. Za validno poređenje relativnog stepena opasnosti na različitim putnim lokacijama sljedeće veličine trebaju biti analizirane:

- ◆ *Indeks saobraćajnih nezgoda (α)* izražen odnosom broja saobraćajnih nezgoda i obima saobraćaja
- ◆ *Težina saobraćajnih nezgoda (β)* izražena kroz odnos broja nezgoda sa poginulim i povrijeđenim i ukupnog broja saobraćajnih nezgoda
- ◆ *Kritičan indeks saobraćajnih nezgoda (γ)* koji predstavlja kvalitativnu statističku kontrolu korišćenih podataka

Navedene veličine izračunavaju se prema sljedećim formulama: [4]

$$\alpha = \frac{n10^6}{tsl} \dots\dots(1) \quad \beta = \frac{n_1 + n_2}{n_1 + n_2 + n_3} \dots\dots(2) \quad \gamma = \alpha + k \sqrt{\frac{\alpha}{m} + \frac{1}{2m}} \dots\dots(3)$$

gdje su: n - broj saobraćajnih nezgoda na određenoj lokaciji ili na dionici puta

t - vrijeme posmatranja (365 dana)

s - prosječan godišnji dnevni saobraćaj(PGDS)

l - dužina dionice puta

n_1 – broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima

n_2 – broj saobraćajnih nezgoda sa povrijeđenim licima

n_3 – broj saobraćajnih nezgoda sa materijalnom štetom

k - standardna normalna promjenljiva koja predstavlja vjerovatnoću da indeks saobraćajnih nezgoda veći od γ nije slučajan događaj ($k = 2,327$ odgovara nivou pouzdanosti od 99%)

m - putovanja na određenoj dionci puta (vozila x km $x 10^6$)

4. EKONOMSKI PROSPERITET

Positivan uticaj investicija u transportni sistem na ekonomski razvoj je jedan od najvažnijih motivirajućih faktora za donošenje odluka u oblasti transporta. Međutim, korelacija između transportne investicije i ekonomskih efekata je još uvijek predmet brojnih debata. Investicija u transportnu infrastrukturu je znatno efektivnija u promovisanju rasta neto produktivnosti nego u stimulisanju regionalnih ekonomskih dobiti.^[5] Smanjenje operativnih troškova i troškova saobraćajnih nezgoda, te smanjenje zastoja pri putovanju imaju znatno veći pozitivan uticaj na ekonomiju u područjima koja su ekonomski razvijenija.

Područja koja su ekonomski slabije razvijena ne mogu očekivati tolike koristi od investicija u transport kao što bi to bio slučaj od investicija u educiranje radne snage ili u prednosti konkurentskog tržišta. Investicija u transport može promovisati lokalni rast zaposlenosti, a kreiranje novih radnih mjesta obično dolazi na račun zaposlenosti u drugim područjima ili regionima. Prema tome investicija u transport više promovira razvoj kroz povećanje produktivnosti nego kroz neto povećanje zaposlenosti. U mnogim slučajevima transportna investicija sama po sebi neće uzrokovati značajnije promjene u ekonomskim aktivnostima. Međutim, ako su investicije u transport praćene adekvatnim tržišnim odnosima i podržavajućom javnom politikom one mogu podstaći ekonomski prosperitet. Neki od ekonomskih indikatora su važni za širi aspekt razmatranja kvaliteta transportnog sistema. Metode vrednovanja transportnih rješenja ili pojedinačnih projekata zasnivaju se uglavnom na analizama koristi i troškova:

$$\frac{K}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n (pf_{i,t})(b_{x,t})}{\sum_{t=0}^n (pf_{i,t})(c_{x,t})} \dots\dots\dots(4)$$

gdje je: *K*-koristi

C-troškovi (štete)

*pf*_{*i,t*} – faktor sadašnje vrijednosti sa kamatom *i* u vremenu *t*

*b*_{*x,t*} – koristi projekta *x* u vremenu *t*

*c*_{*x,t*} – troškovi projekta *x* u vremenu *t*

n – “životni” vijek projekta

Koristi i troškovi transportnih projekata trebaju biti pažljivo i detaljno analizirani uz prethodnu jasnu definiciju pojmova “koristi” i “troškovi”. Ovi pojmovi se moraju tretirati sa stanovišta direktnih korisnika transporta, sa stanovišta vršioca transporta (transportnih kompanija) i sa stanovišta ostalih i indirektnih uticaja transporta na društvenu zajednicu i na okolinu.

5. ZAŠTITA OKOLINE

Savremeni transportni sistem je u svom razvoju prešao granicu pri kojoj on može biti planiran i projektovan samo da zadovolji zahtjeve stanovništva za mobilnošću. Planeri i projektanti moraju razmotriti uticaj projekta transporta na ljude koji žive ili rade u zoni projekta kao i na one koji će to koristiti. Ovaj uticaj može biti direktan i ugroziti živote ljudi i okolinu, a može imati estetske efekte koji mogu uticati na kvalitet života u tom području. Analiza uticaja transporta na okolinu je kompleksan zadatak koji treba biti integralni dio procesa

planiranja.^[6] Negativan uticaj transporta na okolinu najdirektnije se izražava kroz kvalitet vazduha, intenzitet buke i kvalitet vode. U narednom tekstu daje se kratak pregled uticaja saobraćaja na kvalitet vazduha kao i postupak analize buke.

5.1. Kvalitet vazduha

Zagađivač vazduha se može definisati kao bilo koja atmosferska komponenta koja dostigne takvu koncentraciju da nepovoljno utiče na ljudsko zdravlje. Uticaj transporta na kvalitet vazduha najčešće se izražava kroz prisustvo karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), ozona (O₃), olova (P_b), sumpor dioksida (SO₂) i prašine. U tabeli 4 date su neke od standardnih vrijednosti koncentracije ovih zagađivača.

TABELA 4. STANDARDI KVALITETA VAZDUHA

Zagađivač	Standardna vrijednost
Karbon monoksid CO (8-satni prosjek)	10 mg/m ³
Nitrogen dioksid NO ₂ (Godišnja aritmetička sredina)	100 μg/m ³
Ozon O ₃ (8-satni prosjek)	157 μg/m ³
Olovo P _b (Tromjesečni prosjek)	1,5 μg/m ³
Sumpor dioksid SO ₂ (Godišnja aritmetička sredina)	80 μg/m ³
Prašina < 10 μm (Godišnja aritmetička sredina)	50 μg/m ³
Prašina < 2,5 μm (Godišnja aritmetička sredina)	15 μg/m ³

Izvor: Transportation Planning Handbook, Institute of Transportation Engineers, 2nd Edition, Washington DC. 1999

5.2. Analiza buke

Frekvencija, jačina i trajanje su najvažniji parametri zvuka. Od kombinacije ovih parametara zavisi da li je zvuk prijatan ili neprijatan. Nivo pritiska zvuka je mjera jačine pritiska zvučnog talasa i izražava se u decibelima (dB), a izračunava se po formuli:

$$NPZ(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

gdje je: NPZ- nivo pritiska zvuka

p- akustični pritisak

*p*₀- početni pritisak ($2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$)

Detaljna procedura analize saobraćajne buke sadržana je u metodologiji Federalne administracije za puteve SAD.^[7] Osim matematičkog modela ova metodologija sadrži postupak za vrednovanje postojeće i buduće saobraćajne buke, određuje efekte koje bi projekat mogao imati na okolinu i daje uputstva kada mjere za ublažavanje uticaja buke treba da budu razmatrane. Za izražavanje nivoa saobraćajne buke koristi se parametar koji predstavlja ekvivalentni nivo buke u određenom vremenskom intervalu:

$$L_e = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_i/10} \dots\dots\dots(6)$$

gdje je: L_e - ekvivalent nivoa buke u vremenskom periodu t [dB]
 t - posmatrani vremenski period (obično 1 sat)
 L_i - nivo buke u kratkom vremenskom intervalu [dB]

Za analizu saobraćajne buke u stambenim naseljima koristi se parametar dnevno-noćnog nivoa buke. Ovaj parametar je ustvari logaritmiran prosjek ekvivalentnog nivoa buke za vrijeme od 24 sata sa dodatkom 10 dB za period od 22-07 sati (noćni sati). Matematički:

$$DNN = 10 \log \frac{1}{24} \left[\sum_{07}^{22} 10^{\frac{Le(1hr)}{10}} + \sum_{22}^{07} 10^{\frac{Le(1hr)}{10}} \right] \dots\dots\dots(7)$$

gdje je: DNN - dnevno-noćni nivo buke [dB]

Dnevno-noćni nivo buke je često iznad dozvoljenih granica. U takvim slučajevima pristupa se ublažavanju uticaja buke na okolinu poduzimanjem praktičnih i opravdanih (efektnih sa aspekta troškova) mjera. Detaljna analiza svake pojedinačne situacije je neophodna pri definisanju ovih mjera.

6. ZAKLJUČAK

Kvalitet transportnog sistema može se iskazati indikatorima koji omogućuju mjerenje efikasnosti transportnih planova kroz mobilnost, sigurnost, ekonomski prosperitet i zaštitu okoline. Indikatori kvaliteta sa aspekta mobilnosti su brzina, vrijeme putovanja i zastoji. Operativni uslovi u saobraćajnom toku i percepcija karakteristika tih uslova od strane učesnika u transportu iskazuju se kroz nivo usluge. Stepenn sigurnosti transportnog sistema se iskazuje odgovarajućim indeksima koji uzimaju u obzir količinu kretanja i težinu posljedica saobraćajnih nezgoda.

Metode vrednovanja transportnih rješenja ili pojedinačnih projekata sa ekonomskog aspekta zasnivaju se uglavnom na analizama koristi i troškova. Pojmovi “koristi” i “troškovi” moraju biti prethodno jasno definisani i moraju se tretirati sa stanovišta direktnih korisnika transporta, sa stanovišta vršioca transporta i sa stanovišta ostalih i indirektnih uticaja transporta na društvenu zajednicu i na okolinu. Koncentracija zagađujućih gasova i nivo saobraćajne buke u najvećoj mjeri definišu direktan negativan uticaj transporta na okolinu te je kvalitet transportnog sistema u obrnuto proporcijalnom odnosu sa navedenim veličinama.

Parametri prezentirani u ovom radu mogu biti inicijalni indikatori kvaliteta transportnog sistema. Za obuhvatniji i detaljniji pristup ovoj problematici neophodna su šira istraživanja

7. REFERENCE

- [1] Quality/Level of Service Handbook. Florida Department of Transportation, Tallahassee, 2002
- [2] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 2000.
- [3] Kulović, M., Happ, Z., Mogućnosti komparativne analize sigurnosti cestovnog prometa u gradovima, primjer Hrvatske i SAD, 11. Međunarodna naučna konferencija prometnih inženjera Hrvatske, Opatija, 2003.
- [4] Homburger W., et al., Fundamentals of Traffic Engineering, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, 1996.
- [5] Lewis, D., NCHRP Report 342: Primer on Transportation Productivity and Economic Development, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1991.
- [6] Kulović, M., Ekološki aspekti planiranja i eksploatacije puteva, Naučno-stručni skup "Putevi i ekologija" Sarajevo, Novembar 1991.
- [7] C.W. Menge et al., FHWA Traffic Noise Model, Version 1.0, Technical Manual, Federal Highway Administration, Washington D.C., 1998.