

## Metodologija procene potrošnje energije u saobraćaju korišćenjem transportnog modela grada

ANA M. NIKOLI, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

VLADIMIR D. ORI, Univerzitet u Beogradu,

Saobraćajni fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC: 620.9:656

DOI: 10.5937/tehnika1601113N

*Održivo korišćenje energije treba da obezbedi da buduće generacije poseduju izvore energije, koji im omoguće da imaju minimum kvalitet života koji poseduje trenutna generacija. Saobraćaj je jedan od najvećih potrošača energije ali i izvor značajnih pritisaka na životnu sredinu kroz zagađivanja životne sredine. U ovom radu je prikazana upotreba transportnog modela za vidovnu preraspodelu kretanja sa motorizovanih na inačice prevoza na biciklizam kao i predlog mera za uštedu energije. Model definiše na in kvantifikovanje energije u transportnom modelu na osnovu najkraćeg rastojanja pomoću metode opterećenja mreže „sve ili ništa“ u okviru kog se koristi inkrementalno opterećenje mreže. Fokus je na povećanju biciklisti kog saobraćaja prelaskom sa motorizovanih vidova prevoza, i efektima vidovne preraspodele na uštedu energije.*

**Ključne reči:** energija, energetska efikasnost, vidovna preraspodela kretanja, transportni model, ušteda energije

### 1. UVOD

Održivo planiranje saobraćaja se vodi principom da svaki vid prevoza može biti koristan u cilju stvaranja izbalansiranog sistema. Postojeće vidove treba koristiti tako da pružaju maksimalnu efikasnost popravljati ih u granicama u kojima ostvaruju korist. Treba izbegavati bezrazložno uvođenje novih vidova prevoza.

Veliki broj gradova primenjuje strategije koji favorizuju nemotorizovane načine kretanja, javni prevoz i destimulisanje korišćenja automobila u zagušenim urbanim sredinama. Davanje prioriteta kretanjima koja su od visokog društvenog značaja i davanje prioriteta efikasnijim načinima kretanja povećava efikasnost celokupnog transportnog sistema. [1] Daje se prioritet u kretanju pešacima i biciklistima u odnosu na motorna vozila, a komfor i bezbednost dobijaju primarni značaj u odnosu na brzinu kretanja. [2] Ipak, najbolje rezultate daje kombinovanje strategija, npr. energetska efikasnost i vozila na alternativni pogon mogu se simultano koristiti radi smanjenja emisija. [1]

U okviru planiranja namene površina, planeri se obično ne bave uticajem mobilnosti na potrošnju energije. Planiranje energije u saobraćaju nije deo planiranja saobraćaja, a model koji se najčešće koristi – četvorostepeni model nema ograničenja u smislu energije. [1]

Jedan od pristupa koji može da pruži način za kvantifikovanje potrošnje energije i uštede u energiji je procena zasnovana na vidovnoj preraspodeli kretanja. Pristup se zasniva na upotrebi transportnog modela za definisanje mogućih scenarija i procenu voz-km, odnosno put-km, što je jedan od osnovnih pokazatelja energetske efikasnosti u saobraćaju. Tako se može kvantifikovati energija utrošena u saobraćaju, ali i uštede u energiji u zavisnosti od scenarija. Model se zasniva na kretanjima tokom celog dana, pa je potrebno u skladu sa tim definisati kapacitete mreža. U ovom radu je na primeru transportnog modela grada dat predlog metodologije za kvantifikovanje energije u saobraćaju i na osnovu toga, predlog mera za smanjenje potrošnje energije.

### 2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA

Za potrebe definisanja metodologije procene potrošnje energije iskorišćen je transportni model grada sa 128.700 stanovnika koji zauzima površinu od 29,84

Adresa autora: Ana Nikoli, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305

Rad primljen: 28.01.2016.

Rad prihvaćen: 01.02.2016.

km<sup>2</sup>. Posmatrano podruje je podeljeno je na 12 saobraćajnih zona, pri čemu su poštovani osnovni kriterijumi za podelu podruja na zone (homogenost, pristupačnost u odnosu na osnovnu mrežu saobraćajnica, poštovanje prirodnih i veštačkih granica, prilagođenost statističkoj podeli, mogućnost pregrupisavanja zona i buduće namene površina).

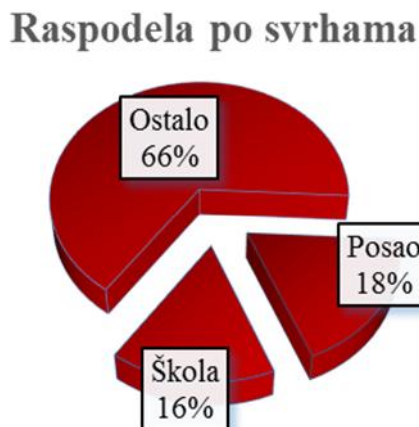
Gustina naseljenosti od 4.535 st/ km<sup>2</sup>, a mobilnost od 2,17 kretanja po stanovniku. Najveći broj kretanja se obavlja javnim gradskim prevozom putnika, čak 46%, dok se 35% kretanja se obavlja putni kim automobilom. Najmanje kretanja se obavlja biciklima, samo 5%, dok se pešice obavlja 14% od svih ukupnih kretanja (slika 1).



Slika 1 - Vidovna raspodela kretanja u postojećem stanju

Velika većina kretanja obavlja motorizovanim vidovima prevoza, što može negativno da utiče na potrošnju energije.

Svakodnevne aktivnosti kao što su odlazak na posao i u školu imaju veliki broj dnevnih kretanja, 34%. Ostatak kretanja predstavljaju aktivnosti kao što su rekreacija, privatni poslovi, kupovina i sl., čak 66% od ukupnih kretanja (slika 2).



Slika 2 - Raspodela po svrhama u postojećem stanju

Prostorna raspodela kretanja u gradu je definisana matricama kretanja, a za potrebe rada osnovna je bila

matrica ukupnih kretanja u toku dana. Na osnovu vidovne raspodele, raspodele kretanja po svrhama i matrice ukupnih kretanja u toku dana, procenjene su matrice kretanja za svaki vid prevoza i svaku svrhu kretanja. Svaka od ovih matrica je dalje razložena na kretanja po vidu prevoza. Ovo je neophodno da bi se dobila što jasnija slika, koja kretanja preovlađuju u gradu, na osnovu čega se donose odluke o daljim akcijama.

Za procenu transportnog rada (voz-km i put-km) korišćen je programski paket OmniTRANS, pomoću kojeg se pušta opterećenje na mrežu saobraćajnica. Koristi se metod opterećenja „sve ili ništa“ u okviru kojeg se koristi inkrementalno opterećenje mreže koje uzima u obzir i izbor rute svakog vida prevoza, po svim svrhama, kao i pojedinačno. S obzirom da je posmatrani period 24h, bilo je neophodno prilagoditi kapacitet čitave mreže tako da može da prihvati celokupno dnevno opterećenje.

### 3. KVANTIFIKOVANJE ENERGIJE

Na osnovu prostorne raspodele (opterećenja) saobraćaja na mreži utvrđen je broj voz-km, odnosno put-km, koji su osnovni pokazatelji energetske efikasnosti u transportu. Treba napomenuti da adekvatan pokazatelj zavisi od cilja analize, stoga pokazatelj energetske efikasnosti treba uskladiti sa svakim pojedinačnim slučajem.

Za procenu potrošnje energije u zavisnosti od načina prevoza korišćeni su podaci iz sledeće tabele.

Tabela 1. Potrošnja energije po vidu prevoza (MJ/put-km)[3]

| Vid prevoza      | Energija u proizvodnji | Gorivo | Ukupno |
|------------------|------------------------|--------|--------|
| Gradski prevoz   |                        |        |        |
| Laka železnica   | 0.7                    | 1.4    | 2.1    |
| BUS              | 0.7                    | 2.1    | 2.8    |
| Trajekt          | 1.2                    | 4.3    | 5.5    |
| Bicikl           | 0.5                    | 0.3    | 0.8    |
| Teška železnica  | 0.9                    | 1.9    | 2.8    |
| PA, benzin       | 1.4                    | 3.0    | 4.4    |
| PA, dizel        | 1.4                    | 3.3    | 4.8    |
| PA, plin         | 1.4                    | 3.4    | 4.8    |
| Privatni autobus | 0.5                    | 1.2    | 1.7    |

Sam proračun je obavljen uz pomoć formule (1) [4] koja u obzir uzima preduženo vozilo kilometre i potrošnju energije po vidu prevoza:

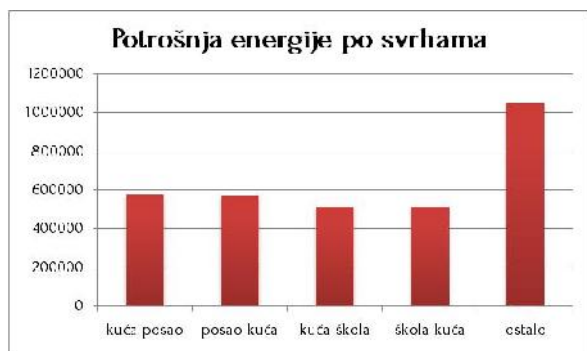
$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m TL_i EC_j [MJ] \quad (1)$$

gde je:

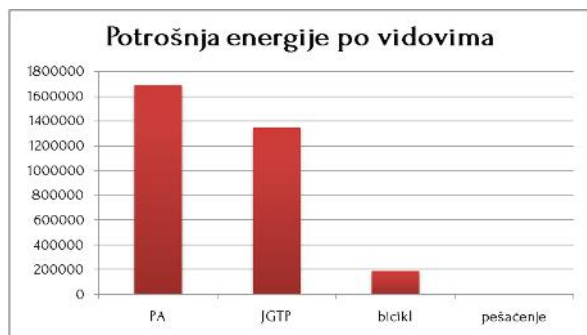
$TL_i$  – dužina putovanja na  $i$ -tom linku u [vozilokm] ( $i=1$  do  $n$ )

$EC_j$  – potrošnja energije po  $j$ -tom vidu prevoza ( $j=1$  do  $n$ )

Dakle, opterećenje mreže po svrhama i vidovima na svakoj deonici se množi sa dužinom deonice da bi se dobili voz-km. Zatim se dobijena vrednost množi sa količinom energije koju svaki vid utroši po km preduženog puta. Na osnovu toga dobija se tabela koja prikazuje dnevnu potrošnju energije po vidovima i svrhama, koja je prikazana pomoću narednih slika.



Slika 3 - Potrošnja energije po svrhama kretanja u postojećem stanju



Slika 4 - Potrošnja energije po vidovima prevoza u postojećem stanju

Veliki deo energije utroši na primarne aktivnosti kao što su odlazak na posao i u školu, kao i povratak kući. Razlike u potrošnji energije su neznatne između ovih svrha (kuća-posao/posao-kuća, kuća-škola/škola-kuća) i posledica su biranja različitih ruta u povratku. Ostatak energije se troši na aktivnosti kao što su rekreacija, privatni poslovi, kupovina i sl. Kada bi se primarne aktivnosti više obavljale nemotorizovanim vidovima transporta, primetno bi opala i količina potrošene transportne energije. Takođe, upotrebom PA se troši znatno više energije od javnog gradskog prevoza,

iako je manje zastupljen u vidovnoj raspodeli kretanja. Iako najveći deo ukupnih kretanja čine kretanja javnim prevozom putnika, nije obezbeđena dovoljna pristupačnost korisnicima, tj. meštani na rastojanja nisu u krugu pešačke dostupnosti.

U vidovnoj raspodeli kretanja u gradu je dosta zastupljen javni gradski prevoz putnika i pešačenje dok je biciklizam zapostavljen. Promenom navika stanovništva, omogućenjem bolje povezanosti biciklistikih staza kao i postavljanjem objekata za parkiranje bicikala se može dovesti do većeg korišćenja ovog prevoznog sredstva što može doprineti smanjenju motorizovanih kretanja, a samim tim i ukupne potrošnje energije.

Ukupna potrošnja transportne energije u gradu iznosi 3.228.650 MJ, što je prosečno 25 MJ transportne energije po stanovniku na dan. Ova količina energije je dovoljna za napajanje jedne sijalice od 60W tokom 4 dana i 19 sati. [4]

#### 4. PREDLOG MERA POVEĆANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Na osnovu uočenih problema (visoka potrošnja energije, mala zastupljenost biciklizma, visok stepen korišćenja motorizovanih vidova prevoza) razvijena je metodologija za povećanje energetske efikasnosti u gradu.

Uzevši u obzir malu zastupljenost biciklizma, predloženo je unaprećenje tog sistema, koje osim prednosti u smislu energetske efikasnosti donosi i unaprećenje celokupnog transportnog sistema. Neke od koristi zastupljenog biciklističkog saobraćaja su:

- koristi energiju ljudi,
- nema uticaj na životnu sredinu,
- povećava pristupačnost,
- smanjenje zagušenja,
- povećava bezbednost,
- povećanje zajedništva u lokalnim zajednicama,
- nema troškove,
- pozitivan uticaj na zdravlje korisnika.

U gradu postoji 45km biciklističkih staza, što iznosi svega četvrtinu ukupne mreže saobraćajnica. Prihvatljivo srednje rastojanje za bicikliste je 4km, mada rute koje su i do tri puta duže nisu neuobičajene za redovne korisnike bicikla. [5] Na osnovu najkraćeg rastojanja između centara zona u gradu primećuje se da veliki broj meštanskih rastojanja znatno premašuje prihvatljivo srednje rastojanje za vožnju bicikla.

Da bi se smanjila meštanska rastojanja, odnosno poboljšala povezanost između zona, i povećao broj biciklističkih kretanja predlaže se izgradnja dodatnih biciklističkih staza, na svim prometnim pravcima u gradu.

Utvrđeno je da bi izgradnjom biciklističke infrastrukture na svim glavnim pravcima, ukupna dužina biciklističkih staza iznosila 93km. Povećanje iznosi 48 km, što je 50,5% od ukupne nove dužine biciklističkih staza.

Izgradnja nove infrastrukture će uzrokovati novu preraspodu kretanja stanovništva, pa samim tim i promenu u potrošnji energije.

Kao dodatnu stimulaciju korisnicima za prelazak na ovaj vid prevoza, treba obezbediti tuševе i svlaionice za one korisnike koji ovaj vid prevoza koriste u svrhu odlaska na posao ili u školu.

## 5. REZULTATI PRIMENJENIH MERA

Prema literaturi [6] na svakih 1km nove biciklističke staze na 100.000 stanovnika udeo biciklizma se povećava za 0,0122%. U ovom slučaju broj stanovnika je 128.700, pa će se na svakih 1km nove biciklističke staze udeo biciklizma povećavati za 0,175%. Kako je u postojećem stanju udeo biciklističkih kretanja iznosio 5%, taj procenat će se povećati za svaki od 48 km nove infrastrukture za 0,175%, odnosno:

$$B_{\text{prognozirani}} = B_{\text{postoje}} + I_{\text{prognozirana}} * 0,175\% \quad (2)$$

gde je:

$B_{\text{prognozirani}}$  – udeo biciklističkih kretanja nakon izmena na mreži [%]

$B_{\text{postoje}}$  – udeo biciklističkih kretanja pre izmena na mreži [%]

$I_{\text{prognozirana}}$  – izgrađena infrastruktura [km]

Dobijene vrednosti za predmetni grad je 13% nakon uspostavljanja novih, povezanih biciklističkih staza, što je povećanje od 8% u odnosu na prethodno stanje infrastrukture. Ovaj procenat je značajan i može se dovesti u pitanje mogućnost ovakvog povećanja. S druge strane, proširenje biciklističke mreže je takođe značajno, a u pitanju je grad srednje veličine pa se može očekivati bolje prihvatanje mera i bolji efekat stimulisanja promene ponašanja.

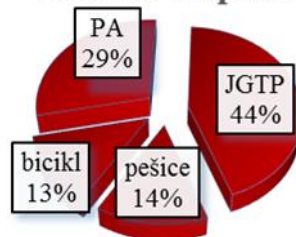
Korisnici se najčešće odlučuju za prelazak sa automobila na bicikl kada su u pitanju kraća automobilska putovanja. Treba napomenuti da je najbolja praksa integrisanje biciklističkih kretanja javnim prevozom putnika, i stvaranje sistema koji pruža korisnicima mogućnost lakog prelaska sa jednog na drugi vid prevoza, čime se ostvaruju komfornija i efikasnija putovanja.

Prema istraživanjima skoro dve trećine od svih kretanja koja se prebacuju na biciklistički vid prevoza su sa putnika kog automobila, dok se ostatak kretanja uglavnom prebacuje sa javnog transporta putnika. [7] Ove vrednosti su uzete kao osnova za novu vidovnu preraspodu kretanja na mreži, što podrazumeva

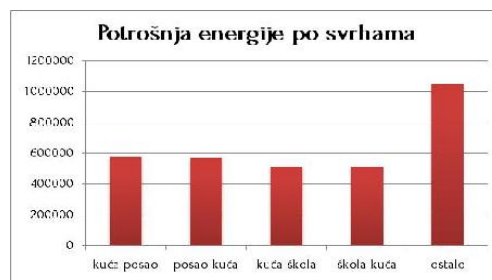
neznatnu promenu pešačkih kretanja u odnosu na postojeće stanje.

Planirana biciklistička mreža je dužine 93km, čime je pokriveno nešto više od polovine ukupne primarne mreže saobraćajnica. Na taj način su znatno smanjena međuzonska rastojanja u odnosu na period pre uvođenja infrastrukturnih promena. Veliki broj rastojanja sada ulazi u prihvatljivo srednje rastojanje vožnje bicikla, što se vidi kroz vidovnu raspodelu kretanja.

### Vidovna raspodela

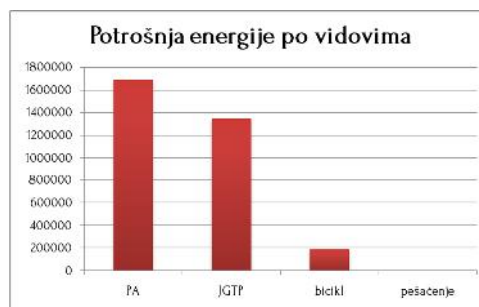


Slika 5 - Vidovna raspodela kretanja u postojećem stanju



Slika 6 - Potrošnja energije po svrhama kretanja u planiranom stanju

Sa grafika o potrošnji energije možemo zaključiti da i dalje najveći deo transportne energije odlazi na aktivnosti kao što su rekreacija, privatni poslovi, kupovina i sl, ali se sada radi o znatno manjoj količini energije. Aktivnosti se više obavljaju nemotorizovanim vidovima transporta, pa je i ukupna količina potrošene transportne energije opala za približno 13%.



Slika 7 - Potrošnja energije po vidovima prevoza u novoprojektovanom stanju

Najviše energije se i dalje troši na prevoz putnika automobilom, ali je nakon izmena najvećeg smanjenje u odnosu na ukupnu količinu energije upravo na ovom vidu prevoza, čak 8,1%. U odnosu na prethodnu

potrošnju energije za prevoz putni kim automobilom ostvareno je smanjenje od 15,4%.

Postignuto je i smanjenje energije u javnom prevozu u odnosu na ukupnu količinu energije za 3,2%, dok je za biciklizam ova vrednost iznosi 1,7%. Posmatrajući i potrošnju energije pre izmena, ostvarena je ušteda energije u javnom prevozu od 7.6%. Najveća ušteda u potrošnji energije u odnosu na prethodno stanje je postignuta u biciklističkom prevozu, čak 28,6%, jer je planirana mreža obezbedila znatno povećanje pristupa i povezanosti aktivnosti u prostoru.

Ukupna potrošnja transportne energije u gradu sada iznosi 2.811.666 MJ, što je prosečno 21,2 MJ transportne energije po stanovniku na dan, odnosno 5% manje energije po stanovniku na dan.

Uvođenje novih staza za nemotorizovane vidove i bolja pristupa javnom gradskom transportu putnika dovela je do toga da se veliki broj korisnika prebacio sa putničkog automobila na alternativne načine prevoza. Sada se i veći broj svakodnevnih kretanja obavlja nemotorizovanim načinima kretanja, a omogućeno je i lako kombinovanje načina kao što je prelazak sa bicikla na javni prevoz uvođenjem novih stajališta.

## 6. DISKUSIJA

Primenjena metodologija je imala ograničenja u smislu mogućnosti kvantifikovanja energetske efikasnosti korišćenjem softverskim paketom, kao i u detaljnosti obrade uticaja vidovne raspodele na potrošnju energije u gradu.

Energetska efikasnost jednog grada je složena tema koja treba da obradi sve aspekte funkcionisanja transportnog sistema. U ovom radu koncentracija je na uticaju povećanja biciklističkog saobraćaja na potrošnju energije. Pored toga bi trebalo testirati sve mere koje mogu da utiču na potrošnju transportne energije.

Jedan od glavnih indikatora transportne energije je i vrsta goriva i emisije zagađujućih materija, koje u ovom radu nije bilo moguće obraditi zbog ograničenja korišćenjem softvera. Za dalja ispitivanja se predlaže korišćenje dodatnog softverskog alata i veća detaljnost analize, koja će obuhvatiti promenu kretanja svim vidovima. Treba uzeti u obzir namenu površina, upravljanje mobilnošću (vidovnom i raspodelom po svrhamama), alternativna goriva, strukturu voznog parka, kao i sve parametre koji mogu uticati na promenu potrošnje transportne energije.

Važno je imati na umu da pojedinačna primena mera može doneti malo koristi, dok njihova sistematska i planska primena donosi značajne uštede energije, smanjenje emisija, unapređenje života stanovnika i sveukupno poboljšanje transportnog sistema.

Uticaj na vidovnu raspodelu kretanja predstavlja skup upravljanja kretanja kojima se utiče na korisnike da biraju alternativne načine kretanja. Ovo se može postići i stimulacijom nemotorizovanih vidova kretanja kroz razne pogodnosti u smislu infrastrukture i objekata, cena, pristupa i povezanosti kao i pogodnosti prelaska na javni transport putnika. Većina ovih mera su komplementarne i nisu namenjene da se primenjuju pojedinačno, pa je kombinovanje, unapređenje i proširivanje mera najbolji način za njihovu implementaciju.

Pored velikog broja pozitivnih efekata na celokupni transportni sistem, povećanje broja nemotorizovanih kretanja može izazvati i određene probleme. Pored troškova koji se javljaju u procesu poboljšanja infrastrukture, postoji i troškovi koje korisnici snose u smislu kupovine opreme ali i u smislu vremena putovanja, nemotorizovani vidovi kretanja oduzimaju više vremena i ljudske energije od motorizovanih. Takođe, ako se koriste u svrhu odlaska na posao ili u školu, nameću se troškovi obezbeđivanja tuševa i svlaionica.

U saobraćajnom smislu preprojektovanje saobraćajnih traka u biciklističke staze, mere smirivanja saobraćaja i smanjenje brzine i širi trotoari mogu izazvati zagušenja na saobraćajnicama. S druge strane, izgradnja nove infrastrukture za nemotorizovane korisnike može izazvati generisanje novog saobraćaja usled smanjenja korišćenja putničkog automobila.

Naime, kako se smanjuju zagušenja na saobraćajnicama, smanjuje se vreme putovanja pa tako i putni troškovi što privlači nove korisnike. Jedna od mogućnosti za smanjenje ovog efekta je destimulacija kroz naplatu parkiranja, naplatu ulaska u određene gradske zone, smanjenje pristupa i centrima aktivnosti i sl.

## 7. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan jedan metodološki pristup kvantifikovanju potrošnje energije u saobraćaju korišćenjem transportnog modela i dostupnih podataka iz literature. Ispitane su uštede u potrošnji energije izgradnjom nove biciklističke infrastrukture koja je uslovlila vidovnu preraspodelu.

Pored smanjenja potrošnje energije u postojećem stanju i dobijene potrošnje nakon izmena, kvantifikovane su uštede u energiji uslovljene vidovnom preraspodelom kretanja.

Izgradnjom novih biciklističkih deonica moguće je uticati i na smanjenje ukupnog ostvarenog transportnog rada biciklom. To je posledica bolje povezanosti mreže i povećanja pristupa i povezanosti aktivnosti u prostoru, što je pokazano smanjenjem potrošnje energije od 28,6% i pored povećanja u većini biciklističkih kretanja na sa 8 na 13%. Tako je prikazan veliki značaj planiranja razvoja biciklističke infrastrukture.

Ipak, ova metodologija ima potencijal za mnoge brojne nadogradnje, menjanjem ne samo vidovne raspodele, već i tipova goriva i namene površina. Radi boljeg razumevanja obrađene problematike smanjenja potrošnje energije na gradskom području, potrebna je i detaljnija razrada i testiranje modela na realnoj mreži sa podacima dobijenim putem istraživanja.

#### ZAHVALNOST

Rad je sastavni deo master rada: „Energetska efikasnost u gradovima – primer hipotezi o gradovima i na- u no-istraživa o projektu "Uticaj globalnih izazova na planiranje saobraćaja i upravljanje saobraćajem u gradovima" TR36021 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] Online TDM Encyclopedia, Energy Conservation and Emission Reductions.
- [2] Online TDM Encyclopedia, Cycling Improvements: Strategies to Make Cycling Convenient, Safe and Pleasant.

- [3] World Energy Council, Energy Efficiency: A Recipe for Success, London W1B 5LT United Kingdom 2010.
- [4] Kenworthy J. R, Transport Energy Use and Greenhouse Gases in Urban Passenger Transport Systems: A Study of 84 Global Cities, Presented to the Third Conference of the Regional Government Network for Sustainable Development, Notre Dame University, Fremantle, Western Australia, September 17-19, 2003.
- [5] Handy S, Tal G., Boarnet M. D, Impacts of Bicycling Strategies on Passenger Vehicle Use and Greenhouse Gas Emissions, Technical Background Document University of Southern California
- [6] Department for Transport, Policy, Planning and Design for Walking and Cycling, UK Roads,
- [7] Transport for London, Analysis of Cycling Potential, 2010

#### SUMMARY

##### ASSESSMENT OF THE TRAFFIC ENERGY CONSUMPTION BASED ON A CITY TRANSPORTATION MODEL

*Sustainable use of energy is required to ensure that future generations have the energy sources, which enable them to the minimum quality of life that the current generation has. Transport is one of the largest consumers of energy and a source of significant influence on the environment through pollution. This paper presents the usage of the transportation model for the modal shift from motorized means of transportation to cycling, as well as an overview of measures for saving energy. In addition, it presents a modal transport method for the modal shift from the motorized modes of transport to cycling. Also, the method for quantifying energy in transport is presented. It is based on the shortest path using network load "all or nothing", in which the incremental network load is used. The focus is on the modal shift from motorized transport modes to bicycle traffic and its impact on energy savings.*

**Key words:** energy, energy efficiency, modal shift, non-motorized modes of transport, transport model, energy saving