

S. Dacić, S. Salihović, M. Babić*

PRIMJENA MODELA SNAGE ZA PROCJENU SMANJENJA BROJA PROMETNIH NEZGODA

UDK 656.1.08.053
PRIMLJENO: 23.4.2014.
PRIHVAĆENO: 2.2.2015

SAŽETAK: Ciljevi koje je Generalna skupština Ujedinjenih naroda postavila rezolucijom 64/255 za razdoblje od 2011. do 2020. odnose se na davanje prioriteta prevenciji i sigurnosti u prometu kako bi se spasili milijuni života. Iste ciljeve za naredno desetljeće postavila je i Europska unija. Jedna od mjera za postizanje navedenih ciljeva je i primjena modela snage koji direktno povezuje brzinu prometnog toka i broj prometnih nezgoda i ozlijeđenih. Model je pouzdan, što je potvrđeno u više studija, jednostavan za uporabu, a uz određenu prilagodbu i posjedovanje relevantnih podataka o broju i posljedicama prometnih nezgoda primjenjiv je na sve kategorije prometnica. U radu je prikazana matematička formulacija modela preko šest jednadžbi pomoću kojih se može analizirati i odrediti broj nezgoda s poginulima, broj nezgoda s teško ozlijeđenim i broj nezgoda s ozlijeđenima, kao i broj poginulih, teže ozlijeđenih i ozlijeđenih. Također, na konkretnom primjeru procjene smanjenja broja prometnih nezgoda i ozlijeđenih pri planiranim smanjenjima brzine prometnog toka prikazani su značajni učinci porasta sigurnosti.

Ključne riječi: model snage, brzina, prometna nezgoda, sigurnost

UVOD

Generalna skupština Ujedinjenih naroda je rezolucijom 64/255 za razdoblje od 2011. do 2020. godine proglasila desetljećem djelovanja za povećanje sigurnosti cestovnog prometa kako bi se spasili milijuni života te spriječila milijunska ozljeđivanja i invaliditeti. Cilj Europske unije (EU) je smanjenje broja poginulih osoba u prometnim nezgodama u cestovnom prometu do 2020. godine za 50 %. Ostvarenje postavljenog cilja je moguće provođenjem niza mjera među kojima je i upravljanje brzinom koja je prema istraživanjima Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj (OECD) iz 2006. godine uzrok

30 % nezgoda s poginulima. Uspješno upravljanje brzinom zahtijeva primjenu raznih metoda, a model snage je jedan od alata za izbor i ocjenu učinaka poduzetih mjera za smanjenje brzine prometnog toka, a koji se uspješno primjenjuje u OECD zemljama.

UTJECAJ BRZINE NA SIGURNOST CESTOVNOG PROMETA

Brzina vožnje je vozno-dinamička karakteristika o kojoj ovisi stabilnost i upravljivost vozila, udobnost vožnje i sigurnost prometa. Ona predstavlja osnovni parametar koji se primjenjuje u svim fazama projektnih istraživanja, budući da o njima praktično ovise svi elementi puta. U isto vrijeme predstavlja indikator razine usluge pri danom prometnom opterećenju i glavni programski pokazatelj u trasiranju, dimenzioniranju

*Prof. dr. sc. Suada Dacić (suada.dacic@fmpe.ba), prof. dr. sc. Sabira Salihović (sabira.salihovic@gmail.com), Mirha Babić, BA, (babic.mirha@gmail.com), Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Zmaja od Bosne 8, 71000 Sarajevo, BiH

i vrednovanju projektnih ostvarenja. Na njoj se temelji najveći broj kriterija prema kojima se ocjenjuje sigurnost i udobnost vožnje u uvjetima slobodnog prometnog toka, odnosno toka na danoj razini usluge. Pri projektiranju cesta analiziraju se, procjenjuju i određuju različite vrste brzina koje ovise o pojedinim elementima puta, kategoriji puta s obzirom na prometnu funkciju i uvjete prostora kroz koji put prolazi, te najveće zakonom dopuštene brzine vožnje na cesti ili dionici ceste. Veća dopuštena brzina vožnje određena zakonom ili upravnim ograničenjem za određeni put ili dionicu ceste ima određene pozitivne učinke, smanjuje vrijeme putovanja i povećava mobilnost. Nažalost, puno je više negativnih posljedica brze vožnje koje se, prvenstveno, odnose na sigurnost korisnika cesta i okolinu. Navedeno je potvrđeno i u istraživanju "Speed management" Europske konferencije ministara transporta iz 2006. koje pokazuje da:

- u svakom trenutku oko 50 % vozača vozi brzinom većom od dopuštene, dok više od 80 % europskih vozača smatra da je prebrza vožnja često, vrlo često ili uvijek glavni uzrok prometnih nezgoda na putevima;
- ovisnost između brzine i sigurnosti u cestovnom prometu je veoma značajna jer nijedan drugi faktor nema tako snažan utjecaj na broj nezgoda i ozljede sudionika prometne nezgode.

Sličan zaključak naveden je i u dokumentu Federacije BiH "Polazne osnove strategije sigurnosti drumskog prometa za razdoblje 2008.–2013." u kojem je navedeno, prema dostupnim policijskim izvještajima u Bosni i Hercegovini, da je u ukupnom opsegu uzroka prometnih nezgoda neprilagođena brzina u 35 % slučajeva bila glavni uzrok prometne nezgode.

Ovisnost između brzine i rizika nezgode je direktna i stabilna. Kada se smanjuje brzina, broj nezgoda i ozlijeđenih također se smanjuje u 95 % slučajeva, a pri povećanju brzine broj nezgoda i ozlijeđenih raste u 71 % slučajeva. Postoji

jasna uzročno–posljedična veza između brzine i sigurnosti; što je veća promjena brzine prometnog toka, to je veći utjecaj na broj nezgoda i ozlijeđenih.¹ Najveća dopuštena brzina utječe na brzinu prometnog toka koja se gotovo uvijek mijenja u istom pravcu kao i dopuštena brzina, npr. ako se dopuštena brzina promijeni za 10 km/h, brzina prometnog toka će se također promijeniti, ali za 25 % od promjene dopuštene brzine, tj. brzina prometnog toka će se promijeniti za 2,5 km/h.

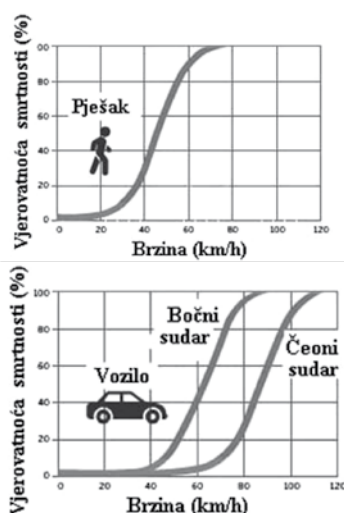
Stvarna brzina vožnje često se razlikuje od dopuštene, kao rezultat toga potrebne su mjere koje će približiti stvarnu brzinu prometnog toka sa zakonski definiranim brzinama. Na osnovi karakteristika prometnice i okruženja jednostavno se mogu odrediti ograničenja brzine, ali je potreban veoma učinkovit sustav upravljanja brzinom da brzina prometnog toka bude u granicama dopuštene brzine.

VEZA IZMEĐU BRZINE I TEŽINE OZLJEDA SUDIONIKA U PROMETNOJ NEZGODI

Tijelo koje se kreće ima kinetičku energiju koja nije opasna sama po sebi sve dok je kontrolirana. Kada vremena i prostora za ispravljanje greške tijekom vožnje nema, dolazi do sudara. U direktnom sudaru dva vozila energija se zbijaju, a kinetička energija se pretvara u mehaničku koja lomi, savija, deformira dijelove vozila ili objekte iz okoline, a u najgorem slučaju izaziva fatalne posljedice za ljudske živote. Istraživanja koja se odnose na sposobnost ljudskog tijela da apsorbira energiju pokazuju da je idealna brzina manja od 30 km/h u područjima intenzivnih pješačkih i biciklističkih kretanja, manja od 50 km/h gdje postoji velika vjerojatnoća bočnih sudara i manja od 70 km/h gdje su mogući čeonni sudari, kako je vidljivo na slici 1².

¹<https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%981%20rapporter/2004/740-2004/740-2004.pdf>

² Dragač, R., Vujanović, M.: Bezbednost saobraćaja, II deo, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2002., str. 67.



Izvor: http://www.dpti.sa.gov.au/roadsafety/safer_speeds/speed_facts (Government of South Australia, Department of Planning Transport and Infrastructure)

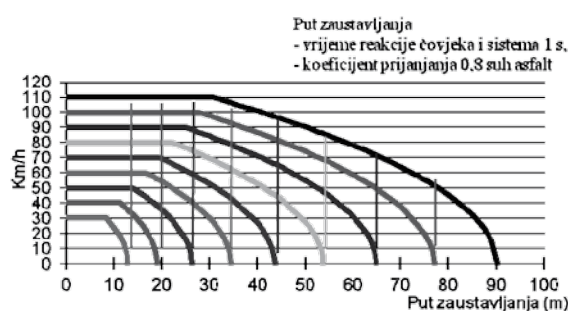
Slika 1. Rizik smrtnosti sudionika prometne nezgode u ovisnosti o brzini pri sudaru u vrsti sudara

Figure 1. Mortality risk in relation to speed in crash and types of crash

Preko 50 % nezgoda sa smrtnim ishodom dogodi se pri brzinama većim od 80 km/h. Pri brzini od 120 km/h strada 4 puta više osoba nego pri brzini od 60 km/h. Pri brzini od 80 km/h na svakih 100 vozila koja su sudjelovala u nezgodama strada prosječno 40 osoba, a pri brzini od 125 km/h strada prosječno oko 140 osoba.³ Dakle, ne postoji sumnja da vjerojatnoća teških ozljeda i smrti raste s porastom brzine.

O brzini vožnje ovisi i put zaustavljanja koji raste s porastom brzine. Na slici 2. prikazana je ovisnost ukupnog zaustavnog puta o brzini vozila. Krivulja puta zaustavljanja sastavljena je od ravnog dijela krivulje koja se odnosi na put koji vozilo prijeđe tijekom reagiranja vozača i kočnog mehanizma i paraboličnog dijela koji se odnosi na put kočenja pri postizanju maksimalnog usporenja.

U danom primjeru vrijeme reagiranja čovjeka i sustava je 1 s, a koeficijent prijanjanja je 0,8, tj. što odgovara vožnji po suhoj, asfaltnoj podlozi (slika 2); (izradio autor).



Slika 2. Vrijednosti puta reagiranja i puta kočenja u ovisnosti o brzini

Figure 2. Reaction time and braking time in relation to speed

Analizom krivulja prikazanih na dijagramu može se zaključiti da vozilo koje se kreće brzinom od 60 km/h s usporenjem od 8 m/s² ima ukupan zaustavni put 33 m koji je približno jednak putu reagiranja čovjeka i sustava za kočenje kada se vozilo kreće brzinom od 110 km/h. Kada se vozilo koje se kreće brzinom od 50 km/h zaustavi, vozilo koje se kreće brzinom od 110 km/h će tek početi proces aktivnog kočenja. Proporcionalno porastu brzine povećava se i put reagiranja, a time se skraćuje raspoloživi put za kočenje do opasne situacije i povećava rizik nezgode.

MODEL SNAGE

Osnovni problem sigurnosti prometa na cestama je neprilagođena brzina vožnje koja utječe na rizik od događanja nezgode, težinu ozljeda, mobilnost, okoliš...

Model snage (Power Model) koji su izradile švedska i norveška nacionalna organizacija za cestovni promet pokazuje da ovisnost između brzine i broja nezgoda, broja poginulih i ozlijeđenih nije linearna, jer rizik nezgode i ozlijeđenja raste brže od porasta brzine, što se može opisati stupnjevitim funkcijama ($\gamma = \chi^n$). Model snage službeno je predstavljen 2004. godine na Lund institutu u doktorskoj studiji Gorana Nilssona pod nazivom Traffic Safety Dimension and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety. Kao istraživač, Nilsson je bio uključen u većinu eksperimenata u Švedskoj od 1967. godine, a u kojima se mijenjala dopuštena brzina

³http://www.dpti.sa.gov.au/roadsafety/safer_speeds/speed_facts (Government of South Australia, Department of Planning Transport and Infrastructure)

vožnje. Polazne vrijednosti dopuštene brzine bile su 40 km/h u gradskom i 60 km/h u izvangradskom području. Nakon nekoliko mjeseci dopuštena brzina povećana je na 70, 90, 110 km/h u izvangradskom području i 130 km/h na autocesti koja je, nakon nekoliko godina, zbog malih dužina autoceste, smanjena na 90, odnosno 110 km/h. Za istraživača Nillsona (2013.) to je bilo odlično područje za proučavanje, te je njegov dugogodišnji rad rezultirao modelom snage. Model snage je jednostavan, primjenjiv i općenit, pojednostavljuje problem sigurnosti cestovnog prometa, pomaže u iznalaženju odgovarajućih mjera, olakšava ocjenu poduzetih mjera. Primjenjuje se u OECD zemljama za procjenu smanjenja broja prometnih nezgoda i ozlijeđenih pri planiranim smanjenjima brzine prometnog toka.

Formulacija modela snage

Model snage daje ovisnost između brzine i sigurnosti cestovnog prometa pomoću šest jednadžbi kojima se može analizirati i odrediti broj nezgoda s poginulima, broj nezgoda s teško ozlijeđenim i broj nezgoda s ozlijeđenim (smrtno, teško i lakše), kao i broj poginulih, teže ozlijeđenih i ozlijeđenih (smrtno, teže i lakše). Navedene jednadžbe prikazane su u Tablici 1.

Tablica 1. Određivanje broja nezgoda i ozlijeđenih prema modelu snage

Table 1. Determining the number of accidents and injured persons using the power model

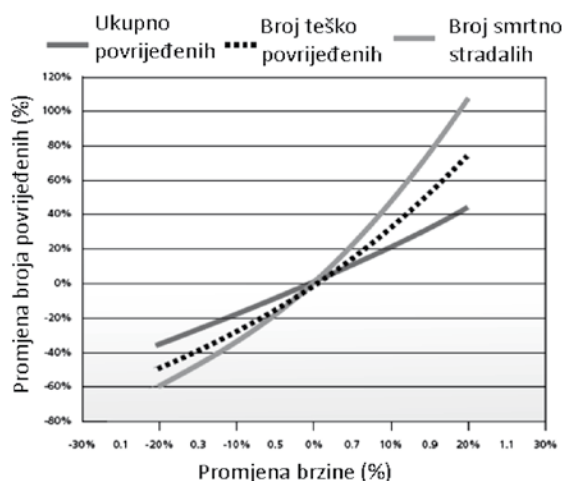
1.	Broj nezgoda s poginulima	$Y_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 Y_0$
2.	Broj nezgoda s teško ozlijeđenim (uključuje poginule)	$Y_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^3 Y_0$
3.	Broj nezgoda s ozlijeđenim (nezgode sa smrtno, teže i lakše ozlijeđenim)	$Y_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^2 Y_0$
4.	Broj poginulih	$Z_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 Y_0 + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^8 (Z_0 - Y_0)$
5.	Broj teže ozlijeđenih (uključuje poginule)	$Z_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^3 Y_0 + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^6 (Z_0 - Y_0)$
6.	Broj ozlijeđenih (smrtno, teže i lakše ozlijeđeni)	$Z_1 = \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^2 Y_0 + \left(\frac{V_1}{V_0}\right)^4 (Z_0 - Y_0)$

Vrijednosti Y_1 , Z_1 označavaju promatranu veličinu poslije smanjenja brzine, a vrijednosti Y_0 , Z_0 prije smanjenja brzine. Vrijednost V_0 je brzina prije smanjenja, a V_1 je smanjena brzina.

Broj nezgoda s poginulima proporcionalan je četvrtom stupnju promjene prosječne brzine, broj nezgoda s teško ozlijeđenim trećem stupnju, a broj ukupnog broja nezgoda proporcionalan je drugom stupnju promjene prosječne brzine.

Npr. posljedica porasta prosječne brzine za 5 % je povećanje promjene broja nezgoda s poginulima za 22 %, promjene broja nezgoda s teško ozlijeđenim za 16 % i promjene broja nezgoda s ozlijeđenima za 10 %.

Kod jednadžbi za utvrđivanje broja ozlijeđenih prvi dio jednadžbe predstavlja promjenu u broju nezgoda, a drugi dio promjenu broja nastradalih po nezgodi. Npr. kod jednadžbe koja utvrđuje ukupan broj ozlijeđenih, prvi dio jednadžbe je promjena u broju nezgoda s ozlijeđenim, a drugi dio je promjena broja ozlijeđenih po nezgodi. Na slici 3 dana je ovisnost promjene broja ozlijeđenih o promjeni prosječne brzine prometnog toka.



Izvor: [www.etsc.eu/documents/Managing Speed Towards Safe and Sustainable Road Transport.pdf](http://www.etsc.eu/documents/Managing%20Speed%20Towards%20Safe%20and%20Sustainable%20Road%20Transport.pdf) Simic Gabriel, Townsend Ellen, 2008, Managing speed towards safe and sustainable road transport (European Transport Safety Council)

Slika 3. Promjena broja ozlijeđenih u ovisnosti o postotnoj promjeni brzine prometnog toka

Figure 3. Change in the number of injured persons in relation to different percentages of speed change

Primjer procjene smanjenja broja prometnih nezgoda i ozlijeđenih pri planiranim smanjenjima brzine prometnog toka

Primjenom jednadžbi danih u Tablici 1, za konkretne vrijednosti iz baze podataka o broju nezgoda s poginulima, teško ozlijeđenima i lakše ozlijeđenima, te o broju poginulih, teško ozli-

jeđenih i lakše ozlijeđenih i poznate vrijednosti brzina, moguće je procijeniti broj nezgoda i broj ozlijeđenih.

U Tablici 2 dani su ulazni podaci o broju nezgoda i ozlijeđenih, a na osnovi kojih je procijenjen broj nezgoda i broj ozlijeđenih, kada se početna brzina V_0 smanji za 1 km/h.

Tablica 2. Procjena broja nezgoda i broja ozlijeđenih prema modelu snage

Table 2. Assessment of the number of accidents and number of injured persons using the power model

Ulazni podaci	Broj nezgoda	Broj		
		Poginulih	Teško ozlijeđenih	Lakše ozlijeđenih
Nezgode s poginulima	100	120	40	20
Nezgode s teško ozlijeđenima	300		340	110
Nezgode s lakše ozlijeđenima	1000			1100
		120	380	1230
	Brzina (km / (h))	Postotna promjena (%)		
Početna brzina V_0	56	Poginulih	Teško + lakše ozlijeđenih	
Krajnja brzina V_1	55	-8	-2,95	
$\frac{V_1}{V_0}$	0,982	Podaci primjenom modela z, y_1	Razlika ulaznih podataka i dobivenih modelom	
Rezultati primjenom modela snage	Ulaz z, y_0			Postotna razlika (%)
Nezgode s poginulima	100	93	7	7
Nezgode s poginulima i teško ozlijeđenima	400	379	21	5,3
Ukupno nezgode (poginuli, teško i lakše ozlijeđeni)	1.400	1.350,4	49,6	3,5
Poginuli	120	110,4	9,6	8
Poginuli i teško ozlijeđeni	500	468,7	31,3	6,3
Ukupno ozlijeđeni (poginuli, teško, lakše)	1.730	1.657,5	72,5	4,2
Rezultati primjenom modela snage	Broj nezgoda	Procijenjeni broj ozlijeđenih prema modelu snage		
		Poginuli	Teško ozlijeđeni	Lakše ozlijeđeni
Nezgode s poginulima	93	110,4	37,7	19,3
Nezgode s teško zlijeđenima	286		320,6	106,3
Nezgode s lakše ozlijeđenima	971,4			1.063,2
		110,4	358,3	1.188,8

Rezultati prikazani u označenom, donjem dijelu Tablice 2 ukazuju na značajno smanjenje broja nezgoda i broja ozlijeđenih pri smanjenju brzine za 1 km/h.

S obzirom da u većini zemalja, a naročito u nerazvijenim zemljama ne postoje relevantne baze podataka o broju nezgoda i ozlijeđenih, za procjenu smanjenja broja prometnih nezgoda moguće je primijeniti transformirani model snage⁴.

ZAKLJUČAK

Značajan korak u smanjenju broja poginulih u prometnim nezgodama je učinkovito upravljanje brzinom, što zahtijeva odgovarajuće metode i alate za izbor i ocjenu učinkovitosti poduzetih mjera. Model snage je jednostavan, pouzdan i primjenjiv matematički model koji direktno povezuje brzinu prometnog toka s brojem ozlijeđenih i brojem prometnih nezgoda. Primjenom modela snage može se odrediti promjena broja prometnih nezgoda i ozlijeđenih pri promjeni brzine, kao i koliko je potrebno smanjiti brzinu prometnog toka za smanjenje broja prometnih nezgoda i ozlijeđenih na željenu razinu. Model se uspješno primjenjuje u OECD zemljama, a preduvjet za primjenu je relevantna i uređena baza podataka o broju i sudionicima prometnih nezgoda, što otežava primjenu modela u nerazvijenim zemljama. Međutim, model se, uz mala novčana ulaganja potrebna za uređenje postojeće baze podataka, može učinkovito iskoristiti u unapređenju sigurnosti u cestovnom prometu.

LITERATURA

Cerovan, V.: *Tehnika i sigurnost prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1997.

Department of Planning Transport and Infrastructure, Government of South Australia,

dostupno na: http://www.dpti.sa.gov.au/roadsafety/safer_speeds/speed_facts, pristupljeno 10.4.2013.

Dragač, R., Vujanović, M.: *Bezbednost saobraćaja II deo*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2002.

Elvik, R., Christensen, P., Amundsen, A.: *Speed and road accidents An evaluation of the Power Model*, dostupno na: <http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%981%20rapporter/2004/740-2004/740-2004.pdf> TOI report, pristupljeno 12.4.2013.

Golubić, J.: *Osnove tehnike i sigurnosti prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1997.

Kostić, S., Papić, Z., Bogdanović, V., Saulić, N.: *Analiza radnji u saobraćaju koje dovode do opasne situacije, XI Simpozijum "Analiza složenih saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju"*, Zlatibor, 2012.

Nilsson, G.: *Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety*, dostupno na: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=21612&fileId=1693353>, pristupljeno 12.4.2013.

Novak, D.: *Upravljanje brzinom u zemljama EU*, Stručni skup "Brzina kao čimbenik sigurnosti prometa", HAK, 2011.

Pantović, Č., Pantović, A.: *Vrijeme trajanja putovanja u zavisnosti od ograničenja brzine kretanja na javnim putevima, Savjetovanje na temu Saobraćajne nezgode*, Stručni skup Zlatibor, 2011.

Polazne osnove strategije sigurnosti drumskog saobraćaja (2008 – 2013.), Sarajevo, 2008.

Simic, G., Townsend, E.: *Managing speed towards safe and sustainable road transport (European Transport Safety Council)*, 2008., dostupno na: www.etsc.eu/documents/Managing Speed Towards Safe and Sustainable Road Transport.pdf, pristupljeno: 10.4.2013.

⁴ www.etsc.eu/documents/Managing Speed Towards Safe and Sustainable Road Transport.pdf Simic Gabriel, Townsend Ellen, 2008, Managing speed towards safe and sustainable road transport (European Transport Safety Council)

Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Knjiga I: Projektovanje, Dio 1: Projektovanje puteva, Poglavlje 3: Geometrijski elementi puta, Sarajevo/Banja Luka, 2005.

Speed management, European conference of ministers of transport (ECMT), 2006.

Zakon o osnovama bezbjednosti saobraćaja na putevima u Bosni i Hercegovini - ZOOBS BiH, Službeni glasnik BiH, broj: 6/06., 48/10.

POWER MODEL USED IN THE ASSESSMENT OF TRAFFIC ACCIDENT REDUCTION

SUMMARY: Targets formulated in 64/255 resolution of the UN General Assembly and set for implementation in the period 2011 to 2020 stress as priority the prevention of accidents and road traffic safety to save millions of lives. The same targets have also been set by the EU and are to be implemented in the coming decade. One of the proposed measures to achieve these targets is by way of implementing the power model, as it shows direct relation between the speed of traffic flow and the number of road accidents and injured persons. Reliability of this model has been affirmed by several studies. It is simple to use and with certain adjustments may be applied to all road categories if relevant data on the number of traffic accidents and their consequences are available. Presented in the paper is the mathematical formulation of the model comprised of six equations that are to be used to analyze and determine the number of accidents with mortality, number of accidents with severely injured persons and number of accidents with injured persons, as well as the number of dead, severely injured and injured persons. In addition, a concrete example is presented of the assessed reduction of road accidents and the number of injured persons for planned speed reductions with significant increase in safety.

Key words: *power model, speed, traffic accident, safety*

*Subject review
Received: 2014-04-23
Accepted: 2015-02-02*