

UTICAJ PUTNIH I SAOBRAĆAJNIH KARAKTERISTIKA NA DOGAĐANJE SAOBRAĆAJNIH NEZGODA NA AUTOPUTEVIMA

Marina Milenković, mast. inž. saobr.

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

dr Draženko Glavić, dipl. inž. saobr.

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, drazen@sf.bg.ac.rs

Anica Kocić, student osnovnih studija

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, nana.anica.kocic@gmail.com

Miloš Petković, student osnovnih studija

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, milospetkovicds@gmail.com

Originalni naučni rad

Rezime: Modeliranje saobraćajnih nezgoda na autoputevima je od velikog značaja zbog učestalosti i težine nezgoda koje se događaju na ovim putevima, kao i zbog zastoja koji nastaju kao njihova posledica. Imajući to u vidu cilj ovog rada je bio da se analizira uticaj putnih i saobraćajnih karakteristika na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima na autoputevima u Srbiji. U radu su analizirane nezgode sa poginulim licima koje su se dogodile u periodu od 2004. god. 2013. god. na autoputu M-1, ukupne dužine 394 km. U analizi podataka je primenjena regresiona analiza i pri tome je korišćen softver Table Curve. Razvijeni regresioni modeli predstavljaju prvi pokušaj da se navedeni uticaji kvantifikuju na autoputevima u Srbiji. Oni bi trebalo da doprinesu povećanju bezbednosti postojećih i projektovanju novih bezbednijih autoputeva u našoj zemlji.

Ključne reči: saobraćajne nezgode, putne karakteristike, saobraćajne karakteristike, autoput

IMPACT OF ROAD AND TRAFFIC CHARACTERISTICS ON THE TRAFFIC ACCIDENTS

Marina Milenković, M.Sc. T.E.

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

Drazenko Glavic, Ph.D. T.E.

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade, drazen@sf.bg.ac.rs

Anica Kocić, B.Sc candidate

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade, nana.anica.kocic@gmail.com

Miloš Petković, B.Sc candidate

Faculty of Traffic and Transport Engineering, University of Belgrade, milospetkovicds@gmail.com

Original scientific paper

Abstract: Modelling traffic accidents on motorways is very significant due to the frequency and severity of traffic accidents which occur on these roads, as well as due to traffic jams they cause. Bearing this in mind, the objective of this paper was to analyze the impact of road and traffic characteristics on the occurrence of traffic accidents with fatalities on motorways in

Serbia. The paper analyzed traffic accidents with fatalities which had occurred in the period from 2004 to 2013 on the M-1 motorway, with the total length of 394km. A regression analysis and the Table Curve software were used in the analysis of data. The developed models represent the first attempt of quantifying the mentioned impacts on the motorways in Serbia. These models should contribute to the improvement of safety of the existing motorways and designing new safer motorways in our country.

Keywords: traffic accidents, road characteristics, traffic characteristics, motorway

1. UVOD

Na globalnom nivou, u poslednje tri decenije, sprovedena su brojna istraživanja kako bi se utvrdila veza između saobraćajnih nezgoda i saobraćajnih i putnih karakteristika autoputeva. Navedena istraživanja do sada nisu vršena u Srbiji, pa stoga ovaj rad predstavlja prvi pokušaj da se navedene zavisnosti utvrde.

1.1. Predmet rada

U okviru rada analizirane su putne i saobraćajne karakteristike deonice autoputa M-1 po staroj kategorizaciji, odnosno DP I-1 po novoj kategorizaciji, ukupne dužine 394,4 km. Od putnih karakteristika razmatrani su: radijus horizontalne krivine, uzdužni nagib i gustina pristupnih tačaka, dok je od saobraćajnih karakteristika analiziran prosečan godišnji dnevni saobraćaja i udeo komercijalnih vozila u ukupnom saobraćajnom toku. U radu su analizirane i saobraćajne nezgode, za period od deset godina (2004.-2013. god.).

1.2. Cilj rada

Cilj rada je bio da se ispita uticaj putnih i saobraćajnih karakteristika na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima na autoputevima u Srbiji. S obzirom da se uslovi koji vladaju u saobraćaju na vangradskom delu mreže razlikuju od onih u gradu, u radu su posebno razvijeni modeli predikcije nezgoda za vangradske i gradske deonice autoputa.

1.3. Ograničenja rada

Osnovno ograničenje rada odnosi se na nedostupnost i struktura i obim podataka. Za mrežu autoputeva u Srbiji bili su dostupni samo podaci o nezgodama sa poginulim licima koje su se dogodile na autoputu M-1. Takođe, jedno od ograničenja rada predstavlja i to što su uzorak činile uglavnom deonice sa idealnim ili približno idealnim karakteristikama (radijus veći od 450 m, uzdužni nagib manji od 3 % itd.), pa nije bilo moguće ispitati uticaj nepovoljnih geometrijskih elementa na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima.

2. PREGLED LITERATURE

Shankar i ostali (1994) su u Sjedinjenim Američkim Državama analizirali nezgode koje su se dogodile na autoputu na osnovu multivarijantnih analiza putne geometrije, vremenskih uslova i drugih sezonskih uticaja. Istraživanje je sprovedeno na uzorku od 61 kilometra autoputa, a neophodni podaci su prikupljeni za vremenski period od šest godina. U radu su odvojeno definisani modeli za različite vrste nezgoda. Pa su tako definisani modeli za bočne sudare, sudar vozila pri vožnji u istom smeru, udar u fiksne objekte i parkirana vozila i prevrtanje vozila na putu. U svim modelima je korišćena negativna binomna regresija, osim modela za prevrtanje vozila koji je opisan Poasonovom regresijom. Geometrijske karakteristike koje su uzete u obzir su broj horizontalnih krivina, broj horizontalnih krivina sa računskom brzinom manjom od 112,6km/h, manjom od 96,5km/h i manjom od 80,45km/h, maksimalni i minimalni radijus, broj vertikalnih krivina i maksimalni i minimalni nagibi. Podaci o vremenskim i drugim sezonskim uslovima sadržali su informacije o prosečnim mesečnim padavinama kiše i snega, maksimalne dnevne padavine i broj snežnih i kišnih dana u mesecu.

Hadi i ostali (1995) su u svom radu koristili negativnu binomnu regresionu analizu kako bi utvrdili uticaj elemenata poprečnog profila puta na stope saobraćajnih nezgoda (ukupan broj nezgoda, nezgode sa poginulim licima i nezgode sa povređenim licima). Korišćeni su podaci za autoputeve države Florida, za period od četiri godine. Posebno su razvijeni modeli za vangradске autoputeve sa četiri ili šest traka, gradske četvortračne autoputeve i gradske šestotračne autoputeve.

Lord i ostali (2005) su modelirali vezu između nezgoda, protoka i gustine, kao i vezu između nezgoda, protoka i odnosa V/C na vangradskim i gradskim deonicama autoputa u Kanadi, za vremenski period od 5 godina. U radu su analizirana dva dela autoputa, jedan vangradski i drugi gradski. Vangradski deo autoputa dužine 40,5 km je podeljen na osam odseka. Gradski deo autoputa koji je analiziran je dužine 5 km. Baza podataka sadrži podatke o nezgodama za pet godina, protok vozila, gustinu saobraćaja i odnos V/C. Rezultati su pokazali da modeli koji uključuju gustinu i odnos V/C najbolje opisuju događanje nezgoda. Utvrđeno je da je rizik od nezgode veći sa većom gustinom i odnosom V/C.

Chang (2005) je razvio dva modela predviđanja saobraćajnih nezgoda za autoputeve u Tajvanu. Prvi model se zasniva na korišćenju negativne binomne regresije, dok se drugi bazira na korišćenju veštačke neuronske mreže. Analiza je sprovedena na autoputu ukupne dužine 373 km i pri tome su korišćeni podaci o nezgodama koje su se dogodile za vremenski period od dve godine.

Podaci o geometrijskim karakteristikama autoputa koji su analizirani u radu su: broj traka, širina saobraćajne trake, horizontalna zakrivljenost i uzdužni nagib. Od saobraćajnih karakteristika analiziran je prosečan godišnji dnevni saobraćaj (PGDS) za različite tipove vozila, faktor vršnog sata i distribucija saobraćaja po trakama.

Chang i Chen (2005) su, takođe u Tajvanu, na istom autoputu, analizirali učestalost nezgoda korišćenjem modela zasnovanog na principu stabla. U radu su analizirani podaci o nezgodama za vremenski period od dve godine i ispitivan je uticaj geometrijskih karakteristika, saobraćajnih karakteristika i vremenskih uslova na događanje saobraćajnih nezgoda. Kada je reč o geometrijskim karakteristikama, u istraživanju su korišćeni podaci o broju saobraćajnih traka, horizontalnoj zakrivljenosti, uzdužnom nagibu i širini bankina; dok su od saobraćajnih karakteristika korišćeni PGDS za različite tipove vozila, faktor vršnog sata i distribucija saobraćaja po trakama.

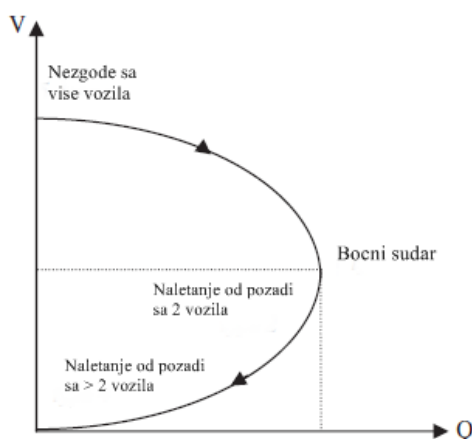
Kiattikomol (2005) je razvio modele predviđanja saobraćajnih nezgoda za autoputeve u Severnoj Karolini i Tenesi na bazi regresione analize. Svi predstavljeni regresioni modeli razvijeni su korišćenjem GENMOD procedure u statističkom softveru SAS. Posebni regresioni modeli su razvijeni za deonice na osnovnim odsecima autoputa i u zoni raskrsnica u cilju procene učestalosti tri tipa nezgoda – nezgode sa materijalnom štetom, nezgode sa povređenim licima i nezgode sa nastradalim licima. Nakon toga, svaki od segmenata je podeljen na podgrupe segmenata sa četiri saobraćajne trake i segmenata sa više od četiri saobraćajne trake.

Montella i ostali (2008) su razvili odvojene modele predikcije ukupnog broja saobraćajnih nezgoda i nezgoda sa nastradalim licima za vangradске autoputeve u Italiji. Istraživani deo autoputa je podeljen na 646 homogenih segmenata (323 za svaki smer). U ovim modelima su korišćene generalizovane linearne tehnike modeliranja. Parametri modela su procenjeni metodom maksimalne verovatnoće korišćenjem GENMOD procedure u SAS-u, a promenljive koje se nalaze u modelu su intezitet i struktura saobraćajnog toka, horizontalne i vertikalne krivine, konzistentnost projekta, dužina preglednosti, okolina puta, poprečni profil, ograničenja brzine i ulivne/izlivne rampe. Razvijeni su odvojeni modeli za ukupan broj nezgoda i za nezgode sa nastradalim licima, kao i modeli za svaku nezavisnu promenljivu i modeli sa postepenim dodavanjem po jedne promenljive u svakom koraku.

Chen i ostali (2009) su imali primarni cilj da vrednuju uticaj broja i razmeštaja saobraćajnih traka na izlivnim rampama autoputa na bezbednosne performanse autoputa na segmentima u oblasti izlivnih rampi.

Vremenski period posmatranja je tri godine i istraživački tim je prikupio podatke o saobraćajnim nezgodama koje su se dogodile u tom periodu na 326 segmenta autoputa u državi Florida. Razmatrana su četiri tipa izlivnih rampi u okviru ove studije. Utvrđeno je da je povoljnije razviti posebne modele za jednostrane i dvostrane izlivne rampe. Modeli predikcije saobraćajnih nezgoda su razvijeni da identifikuju faktore koji doprinose događanju nezgoda na izabranim segmentima autoputa, kao i da obezbede kvantifikovane informacije vezane za uticaj različitih tipova izlivnih rampi na bezbednost saobraćaja. Uočeno je da PGDS na rampama i autoputu, postavljena ograničenja brzina na autoputu, dužina trake za usporenje, širina bankine, kao i tip izlivnih rampi značajno utiču na performanse bezbednosti saobraćaja u zonama izlivnih rampi.

Christoforou i ostali (2011) su se fokusirali na istraživanje efekata raznovrsnih saobraćajnih parametara prikupljenih u realnom vremenu - u i pre trenutka događanja saobraćajnih nezgoda različitih tipova. Modeli predviđanja sa više varijabli se oslanjaju na četvorogodišnje podatke za segment autoputa, dužine 2,3 km, u Francuskoj. Korišćen je dezagregatni pristup u kojem jedinice analize predstavljaju same saobraćajne nezgode, ukupno 381 nezgoda. Multivarijantni model predikcije koji je razvijen u okviru ove studije je baziran na multivarijantnoj normalnoj raspodeli. Saobraćajni podaci koji su korišćeni su protok, brzina i gustina. Nezgode sa nedostupnim podacima o saobraćaju su takođe isključene. Rezultati događanja nezgoda u zavisnosti od saobraćajnog režima prikazani su na Slici 1.



Slika 1. Rezultati: Raspodela tipova saobraćajnih nezgoda u zavisnosti od saobraćajnog režima

Deublein i ostali (2012) su razvili modele predikcije koji su potom i testirani na vangradskoj mreži autoputeva u Austriji. Ukupna dužina posmatrane mreže autoputeva je 3.642km (za oba smera), a posmatrani vremenski period je sedam godina.

Čitav set podataka (od 3.642 km) podeljen je u dve strukture nezavisnih setova podataka koje sadrže različite slučajno odabrane deonice puta. Prvi set podataka za mrežu dužine 2.952 km je korišćen za razvoj modela, dok je drugi set za mrežu dužine 690 km korišćen samo za testiranje modela. Autori su predstavili novu metodu za predviđanje događanja saobraćajnih nezgoda. Metodologija koristi kombinaciju tri statističke metode: (1) gama-ažuriranje za predviđanje broja nezgoda sa povređenim licima i broja povređenih, (2) hijerarhijska multivarijantna Poasonova lognormalna regresiona analiza koja uzima u obzir korelaciju između zavisnih ishodnih promenljivih modela i efekta diskretnih podataka o nezgodama, i (3) Bajesovi algoritmi za zaključivanje koji se primenjuju pomoću tehnika za pretraživanje podataka, podržanih od strane Bajesovih probabilističkih mreža, u cilju predstavljanja nelinearnosti između predviđanja rizika i promenljivih u modelu, baš kao i različite tipove neizvesnosti koji mogu biti predstavljene u razvoju specifičnih modela. Promenljive koje su uzete u obzir su prosečan godišnji dnevni saobraćaj, procenat udela komercijalnih vozila u toku, stepen zakrivljenosti puta, veličina nagiba, broj saobraćajnih traka na deonici puta za svaki smer vožnje, postavljeno ograničenje brzine i binarna promenljiva koja predstavlja postojanje zaustavnih traka.

Cafiso i ostali (2012) su u okviru svog rada prikazali postupak analize nezgoda za mrežu autoputeva pružajući poređenje između konvencionalnih analitičkih tehnika baziranih na GLM (Generalizovanom linearnom modelu) i drugačijeg pristupa baziranog na GEE (Generalnoj jednačini procene). Predmet rada je bio autoput u Italiji i pri tome su korišćeni podaci za period od šest godina. Prikupljeni su podaci za 652 deonice. U analizi su korišćeni podaci samo sa nezgode sa nastradalim licima. Za svaku od deonica definisane su sledeće nezavisne promenljive: opasnost na putu, vrednost uzdužnog nagiba, nepostojanje odgovarajućeg poprečnog nagiba na analiziranim segmentima, varijable koje su povezane sa tipom segmenta i iskazuju stepen homogenosti segmenta i varijable koje se povezuju sa zakrivljenošću homogenih putnih elemenata.

Chang i ostali (2012) su u svojoj studiji sproveli analizu učestalosti saobraćajnih nezgoda na autoputevima i pritom su koristili model neparametarskih analiza, odnosno multivarijantne prilagodive regresione krive (Multivariate Adaptive Regression Splines - MARS), kojim je omogućeno ispitivanje uticaja različitih faktora na događanje saobraćajnih nezgoda. Analiza je sprovedena na autoputu u Tajvanu ukupne dužine 373 km. U radu su analizirani uticaji geometrijskih karakteristika autoputa, saobraćajnih karakteristika, kao i uticaji vremenskih uslova na događanje saobraćajnih nezgoda.

Podaci o nezgodama su prikupljeni za period od dve godine. Kada je reč o geometrijskim karakteristikama puta, u analizi su korišćeni podaci o broju traka, uzdužnom nagibu i radijusu horizontalnih krivina, dok su od saobraćajnih parametara za analizu korišćeni PGDS različitih kategorija vozila i distribucija intenziteta saobraćaja po trakama. Pored navedenog, u radu je razmatran i uticaj vremenskih prilika, odnosno vazdušni pritisak, temperatura, vlažnost, padavine i brzina vetra.

Chengye i Ranjitkar (2013) su analizirali bezbednost saobraćaja na autoputu razvojem modela predikcije nezgoda koji povezuju učestalost nezgoda sa faktorima koji ne zavise od ponašanja vozača, a doprinose nezgodama, uključujući uslove saobraćaja, geometrijske i operativne karakteristike puteva i vremenske uslove. U radu su korišćeni podaci o nezgodama za period od sedam godina koje su se dogodile na delu autoputa na Novom Zelandu, dužine 74 km. Skup podataka za prvih pet godina je korišćen za razvijanje modela, dok su podaci za naredne dve godine korišćeni za testiranje performansi predviđanja. U radu su razvijeni modeli negativne binomne regresije za tri slučaja: najpre za sve deonice autoputa, zatim odvojeno za vangradske i gradske deonice autoputa i na kraju posebno za deonice autoputa bez rampi i delove autoputa sa ulivnom i izlivnom rampom. Rezultati su pokazali da najveći uticaj na bezbednost učesnika u saobraćaju ima PGDS i broj saobraćajnih traka.

3. ANALIZA BAZA PODATAKA

Za ispitivanje uticaja putnih i saobraćajnih karakteristika na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima, bilo je neophodno prikupiti podatke o saobraćajnim nezgodama i podatke o saobraćajnom opterećenju i geometriji puta.

3.1. Baza podataka o saobraćajnim nezgodama

Baza podataka o saobraćajnim nezgodama je sadržala podatke o vrsti saobraćajne nezgode, vremenskoj i prostornoj distribuciji saobraćajnih nezgoda, kao i podatke o stanju kolovoza u trenutku nastanka nezgode i glavnom uzroku nastanka nezgode. Za potrebe ovog istraživanja značajni su bili podaci o prostornoj distribuciji nezgoda sa poginulim licima. Prostorna distribucija saobraćajnih nezgoda je utvrđena na osnovu definisane stacionaže, odnosno km stuba. Za razmatrani vremenski period od deset godina na razmatranim deonicama se dogodilo ukupno 246 saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima.

3.2. Baza podataka o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju

Podaci o saobraćajnom opterećenju su preuzeti iz baze podataka Javnog preduzeća „Putevi Srbije“. Baza podataka o saobraćajnom opterećenju sadrži

podatke o PGDS-u, ukupno i po osnovnim kategorijama vozila.

3.3. Baza podataka o geometriji puta

Podaci o geometriji puta su takođe preuzeti iz baze podataka Javnog preduzeća „Putevi Srbije“. Ova baza se sastojala iz više delova (tabela) u kojima su odvojeno beleženi podaci o poprečnom profilu puta, horizontalnom i vertikalnom pružanju trase. Jedinica posmatranja svake baze (tabela) je bio odsek. Odsek je definisan kao deo deonice sa konstantnom vrednošću promenljive čiji se uticaj ispitivao. Dakle, granice ovih odseka su bile postavljene tamo gde je došlo do promene odgovarajuće promenljive.

3.4. Integrisana baza podataka

Na osnovu pojedinačnih baza formirane su dve integrisane baze podataka, jedna za vangradski, a druga za gradski deo mreže. Formirane integrisane baze podataka su sadržale podatke o saobraćajnim nezgodama sa poginulim licima, saobraćajnim i putnim karakteristikama. Deonice su podeljene na homogene odseke, čije su granice postavljene tamo gde je došlo do promene jedne od nezavisnih promenljivih (prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja, udela komercijalnih vozila u toku, uzdužnog nagiba ili radijusa horizontalne krivine). Ove baze su formirane za analizu uticaja više nezavisnih promenljivih na zavisnu promenljivu.

Kako bi se formirala integrisana baza podataka bilo je neophodno svakoj deonici dodeliti određen broj saobraćajnih nezgoda (utvrditi koliko se na svakoj deonici dogodilo saobraćajnih nezgoda).

Zavisnu promenljivu je predstavljao broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje, a za nezavisne promenljive su izabrane sledeće promenljive: prosečan godišnji dnevni saobraćaj, udeo komercijalnih vozila u saobraćajnom toku, radijus horizontalne krivine, podužni nagib i gustina pristupnih tačaka.

4. ANALIZA REZULTATA

U okviru rada prikazani su rezultati za koje je utvrđeno da statistički značajno utiču na događanje saobraćajnih nezgoda. Takođe, pojedine uticaje promenljivih nije bilo moguće ispitati zato što nije postojao dovoljno veliki broj deonica sa kritičnim vrednostima izabrane promenljive (npr. samo na dve deonice izabranog autoputa je radijus krivine bio manji od kritičnog, odnosno manji od 450 m, pa stoga nije bilo moguće ispitati uticaj radijusa na događanje saobraćajnih nezgoda).

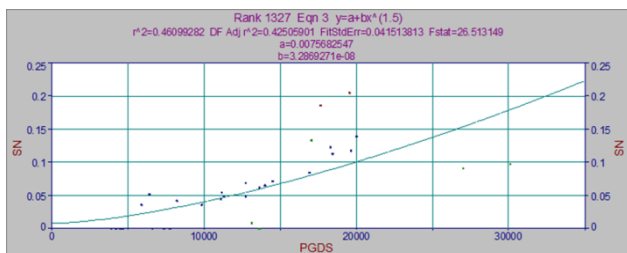
4.1. Uticaj prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja na broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima

4.1.1. Vangradske deonice autoputa

Da bi se ispitaio pojedinačan uticaj prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima razvijeni su regresioni modeli zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima od prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja. Za vangradske deonice je najbolju uklopljenost imao sledeći model:

$$N = 0,007 + 3,29 \times PGDS^{1,5}$$

Dobijeni rezultati pokazuju da na vangradskom autoputu sa povećanjem prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja raste broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje. Ovim modelom je objašnjeno 46,1% varijanse broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje ($R^2=0,461$). Grafička interpretacija ovog modela je prikazana na Slici 2. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima stranih istraživanja.



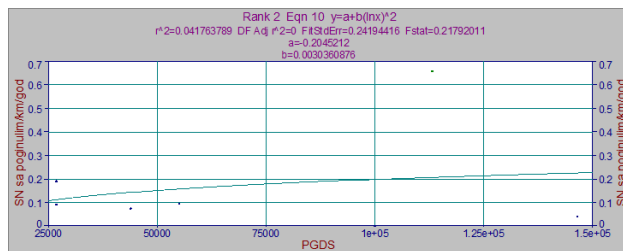
Slika 2. Model zavisnosti broja SN od PGDS-a

4.1.2. Gradske deonice autoputa

S obzirom da su uslovi koji vladaju u saobraćajnom toku na gradskoj mreži različiti od onih na vangradskoj mreži, razvijeni su regresioni modeli zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje od prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja za deonice gradskog autoputa. Najbolju uklopljenost imao je sledeći model:

$$N = -0,204 + 0,003 \times (\ln PGDS)^2$$

Rezultati koji su dobijeni za gradske deonice autoputa takođe pokazuju da sa povećanjem prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja raste broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje. Međutim, ovim modelom je objašnjeno svega 4,2 % varijanse broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje ($R^2=0,042$). Grafička interpretacija ovog modela je prikazana na Slici 3. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima stranih istraživanja.



Slika 3. Model zavisnosti broja SN od PGDS-a

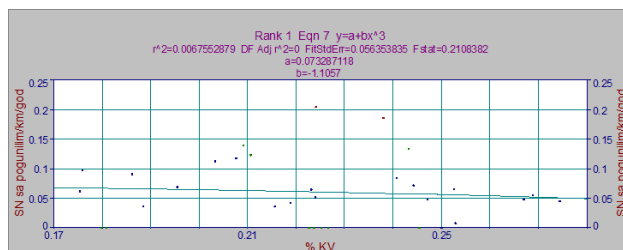
4.2. Uticaj udela komercijalnih vozila u ukupnom saobraćajnom toku na broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima

4.2.1. Vangradske deonice autoputa

Pored prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja, jedna od značajnih saobraćajnih karakteristika je i udeo komercijalnih vozila u ukupnom saobraćajnom toku. Imajući to u vidu, u okviru ovog rada razvijeni su modeli zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje od udela komercijalnih vozila u toku, za vangradske i gradske deonice autoputeva. Za vangradske deonice, najbolju uklopljenost je imao sledeći model:

$$N = 0,073 - 1,106 \times KV^3$$

Rezultati koji su dobijeni u ovom radu pokazuju da se sa povećanjem udela komercijalnih vozila u toku, na vangradskom autoputu, beleži blagi pad u broju saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje ($R^2=0,007$). Međutim, treba imati u vidu da je ovim modelom objašnjeno svega 0,7 % varijanse ishodne promenljive (broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje). Grafička interpretacija ovog modela je prikazana na Slici 4. Dobijeni rezultati su delimično u skladu sa rezultatima stranih istraživanja, s obzirom da su rezultati inostranih studija različiti, tj. pojedini su utvrdili da se sa povećanjem udela smanjuje broj saobraćajnih nezgoda (kao što je slučaj sa ovim projektom), dok su drugi pak ustanovili suprotno, da se sa povećanjem udela povećava broj saobraćajnih nezgoda.

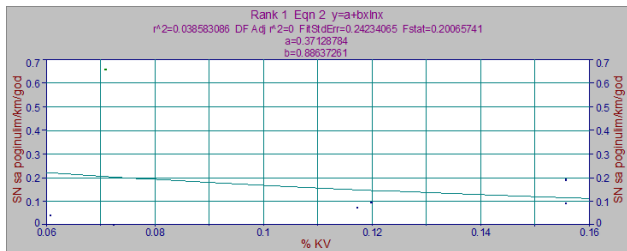


Slika 4. Model zavisnosti broja SN od %KV

4.2.2. Gradske deonice autoputa

Uticaj udela komercijalnih vozila u ukupnom saobraćajnom toku na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima je analiziran i za gradske deonice autoputa. Jednačina modela koji je imao najbolju uklopljenost ima sledeći oblik:

$$N = 0,371 + 0,886 \times KV^3 \times KV \times \ln(KV)$$



Slika 5. Model zavisnosti broja SN od %KV

Rezultati koji su dobijeni u ovom projektu pokazuju da se sa povećanjem udela komercijalnih vozila u toku, na gradskom autoputu, smanjuje broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje ($R^2=0,038$). Treba napomenuti da je jako mali procenat varijanse objašnjen ovim modelom, svega 3,8%. Grafička interpretacija ovog modela je prikazana na Slici 5.

4.3. Uticaj uzdužnog nagiba na broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima

4.3.1. Vangradske deonice autoputa

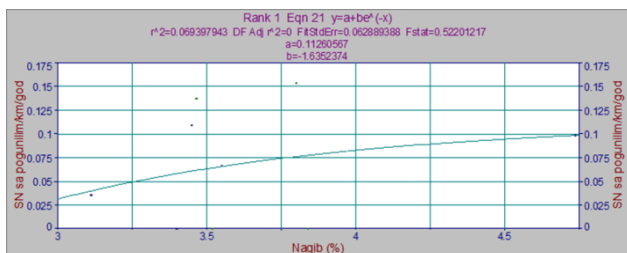
U radu je ispitivan uticaj uzdužnog nagiba, kao jedne od putnih (geometrijskih) karakteristika autoputa, na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje.

Uzorak su činile samo deonice sa kritičnim uzdužnim nagibom (nagibom većim od 3 %). Za vangradske deonice je najbolju uklopljenost imao sledeći model:

$$N = 0,113 - 1,635 \times e^{(-UN)}$$

Dobijeni rezultati pokazuju da se na vangradskim deonicama sa povećanjem uzdužnog nagiba povećava broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje.

Ovim modelom je objašnjeno 7 % varijanse ishodne promenljive ($R^2=0,069$). Grafička interpretacija ovog modela je prikazana na Slici 6, a dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima stranih istraživanja.



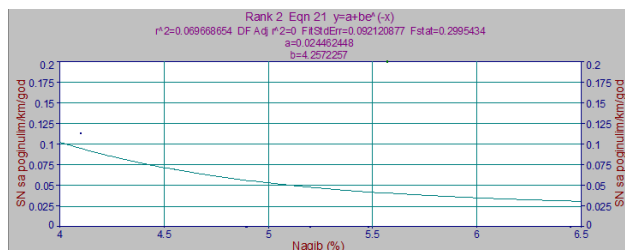
Slika 6. Model zavisnosti broja SN od uzdužnog nagiba

4.3.2. Gradske deonice autoputa

Uticaj uzdužnog nagiba na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima je posebno razmatran za gradske deonice autoputa. Najbolju uklopljenost je imao sledeći model:

$$N = 0,024 + 4,257 \times e^{(-UN)}$$

Rezultati koji su dobijeni za gradski autoput pokazuju da se sa povećanjem nagiba smanjuje broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje ($R^2=0,069$). Međutim, treba napomenuti da je uzorak činilo svega nekoliko deonica sa kritičnim nagibom ($UN > 3$ %).



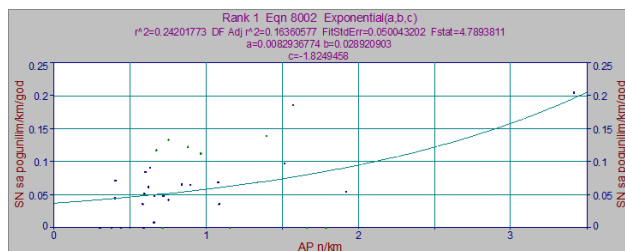
Slika 7. Model zavisnosti broja SN od uzdužnog nagiba

4.4. Uticaj gustine pristupnih tačaka na broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima

4.4.1. Vangradske deonice autoputa

Imajući u vidu da je u velikom broju inostranih istraživanja utvrđeno da gustina pristupnih tačaka u velikoj meri utiče na događanje saobraćajnih nezgoda, u radu je analiziran uticaj navedene promenljive na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima. Za vangradske deonice autoputeva je utvrđena sledeća zavisnost:

$$N = 0,0083 + 0,0289 \times e^{-\left(\frac{AP}{1,825}\right)}$$



Slika 8. Model zavisnosti broja SN od gustine pristupnih tačaka

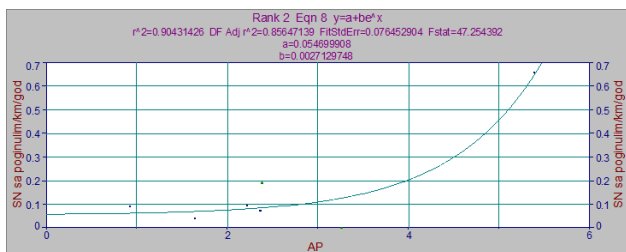
Rezultati koji su dobijeni za vangradske deonice autoputeva pokazuju da sa povećanjem gustine pristupnih tačaka raste broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje. Ovim modelom je objašnjeno 24,2 % varijanse ishodne promenljive ($R^2=0,242$). Grafička interpretacija ovog modela je prikazana na Slici 8. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima stranih istraživanja.

4.4.2. Gradske deonice autoputa

Regresioni modeli zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje od gustine pristupnih tačaka su razvijeni i za gradske deonice autoputeva. Za ovaj deo mreže je najbolju uklopljenost imao sledeći model:

$$N = 0,055 + 0,003 \times e^{AP}$$

Rezultati za gradske autoputeve pokazuju da sa povećanjem gustine pristupnih tačaka raste broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje. Ovaj model objašnjava čak 90% varijabilnosti zavisne promenljive ($R^2=0,904$). Grafička interpretacija ovog modela je prikazana na Slici 9. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima stranih istraživanja.



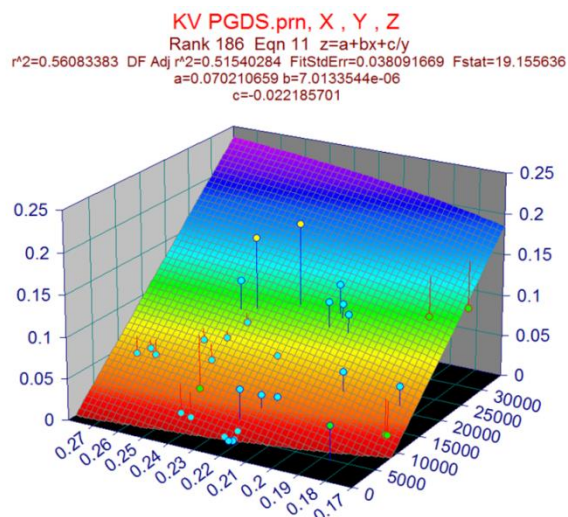
Slika 9. Model zavisnosti broja SN od gustine pristupnih tačaka

4.5. Kombinovani uticaj prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja i udela komercijalnih vozila u ukupnom toku na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima

U okviru rada je razvijen višestruki regresioni model zavisnosti broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima od prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja i udela komercijalnih vozila u ukupnom saobraćajnom toku na deonicama vangradskog autoputa. Model za gradske deonice nije prikazan u radu s obzirom da nije bio statistički značajan. Za vangradske deonice autoputa je dobijen sledeći model:

$$N = 0,0702 + 7,013 \times KV - 0,022 / PGDS$$

Rezultati ove analize su pokazali da se na deonicama sa većim prosečnim godišnjim dnevnim saobraćajem i većim udelom komercijalnih vozila u ukupnom toku, događa veći broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima (Slika 10).



Slika 10. Višestruki regresioni model zavisnosti broja SN od gustine pristupnih tačaka

5. DISKUSIJA

Rezultati istraživanja koje je sprovedeno u okviru ovog rada su uglavnom u skladu sa rezultatima inostranih istraživanja. Naime, oni su pokazali da prosečan godišnji dnevni saobraćaj, udeo komercijalnih vozila u ukupnom toku, uzdužni nagib i gustina pristupnih tačaka statistički značajno utiču na događanje saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima.

Utvrđeno je da se na vangradskim deonicama autoputeva sa povećanjem prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja, uzdužnog nagiba i gustine pristupnih tačaka povećava broj nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje, dok se sa povećanjem udela komercijalnih vozila smanjuje broj saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje.

Za deonice gradskih autoputeva je utvrđeno da povećanje prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja i gustine pristupnih tačaka dovodi do povećanja broja nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje, a da povećanje udela komercijalnih vozila i uzdužnog nagiba dovodi do smanjenja broja saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima po kilometru godišnje.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA SA PRAVCIMA BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

6.1. Zaključna razmatranja

Dobijeni rezultati su pokazali da pojedine putne i saobraćajne karakteristike značajno utiču na događanje saobraćajnih nezgoda i da prilikom projektovanja novih i unapređenja postojećih autoputeva treba voditi računa o ovim elementima autoputa. Pored toga, postoje brojne mere koje podrazumevaju uvođenje inteligentnih transportnih sistema, a koje mogu da doprinesu bezbednijem i efikasnijem funkcionisanju saobraćaja na autoputevima. Jedna od takvih mera je svakako upravljanje saobraćajem na rampama tzv. ramp metering. Svrha ramp meteringa osim povećanja nivoa usluge saobraćajnog toka jeste i obezbeđenje bezbednih manevrara ulivanja na ulasku na autoput.

6.2. Pravci budućih istraživanja

Kako bi u budućim istraživanjima bilo moguće razviti pouzdane modele predviđanja saobraćajnih nezgoda za autoputeve potrebno je povećati uzorak prikupljanjem podataka za celokupnu autoputnu mrežu Srbije. Takođe, pored nezgoda sa poginulim licima treba uzeti u obzir i nezgode sa povređenim licima, kao i nezgode sa materijalnom štetom.

Takođe, treba raditi i na tome da podaci o prostornoj distribuciji saobraćajnih nezgoda budu što precizniji. Beleženje saobraćajnih nezgoda GPS koordinatama bi u velikoj meri doprinelo tome da podaci o prostornoj raspodeli SN budu što precizniji. Dakle, povećanjem uzorka i prikupljanjem preciznih podataka rezultati istraživanja bi bili pouzdaniji.

LITERATURA

- [1] Adminaite, D., Allsop, R., & Jost, G. (2015). Ranking EU progress on improving motorway safety.
- [2] Bonneson, J., Zimmerman, K., & Fitzpatrick, K. (2005). Roadway safety design synthesis (No. FHWA/TX-05/0-4703-P1).
- [3] Cafiso, S., & D'Agostino, C. (2012). Safety Performance Function for Motorways using Generalized Estimation Equations. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 900-909.
- [4] Chang, L. Y. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety science*, 43(8), 541-557.
- [5] Chang, L. Y., & Chen, W. C. (2005). Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. *Journal of Safety Research*, 36(4), 365-375.
- [6] Chang, L. Y., Chu, H. C., Lin, D. J., & Lui, P. (2012). Analysis of Freeway Accident Frequency using Multivariate Adaptive Regression Splines. *Procedia Engineering*, 45, 824-829.
- [7] Chaudhary, N. A., Tian, Z., Messer, C. J., & Chu, C. L. (2004). Ramp metering algorithms and approaches for Texas (No. FHWA/TX-05/0-4629-1.).
- [8] Chen, H., Liu, P., Lu, J. J., & Behzadi, B. (2009). Evaluating the safety impacts of the number and arrangement of lanes on freeway exit ramps. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 543-551.
- [9] CHENGYE, P., & RANJITKAR, P. (2013). Modelling motorway accidents using negative binomial regression. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10(0), 1946-1963.
- [10] Christoforou, Z., Cohen, S., & Karlaftis, M. G. (2011). Identifying crash type propensity using real-time traffic data on freeways. *Journal of Safety research*, 42(1), 43-50.
- [11] Deublein, M., Schubert, M., Adey, B. T., Köhler, J., & Faber, M. H. (2013). Prediction of road accidents: A Bayesian hierarchical approach. *Accident Analysis & Prevention*, 51, 274-291.
- [12] Kiattikomol, V. (2005). Freeway crash prediction models for long-range urban transportation planning. Doctoral Dissertations, University of Tennessee, Knoxville.
- [13] La Torre, F., Domenichini, L., Meocci, M., Graham, D., Karathodorou, N., Richter, T., Ruhl, S., Yannis, G., Dragomanovits, A. & Laiou, A. (2017). Development of a transnational accident prediction model. *Transportation Research Procedia*, 14, 1772-1781.
- [14] Lord, D., Manar, A., & Vizioli, A. (2005). Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. *Accident Analysis & Prevention*, 37(1), 185-199.
- [15] Montella, A., Colantuoni, L., & Lamberti, R. (2008). Crash prediction models for rural motorways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2083), 180-189.
- [16] Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.