

Primljen / Received: 15.2.2015.
 Ispravljen / Corrected: 12.1.2016.
 Prihvaćen / Accepted: 8.2.2016.
 Dostupno online / Available online: 10.10.2016.

Utjecaj primjene metode ograničenja brzine na sigurnost autocesta

Autori:



Doktorand **Mostafa Adresi**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište Tarbiat Modares, Teheran
 Građevinski fakultet
mostafa.adresi@modares.ac.ir



Mr.sc. **Ali Mohammad Baghalishahi**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište za znanost i tehnologiju, Teheran
 Građevinski fakultet
ali.baghalishahi@yahoo.com



Mr.sc. **Maryam Zeini**, dipl.ing.građ.
 Sveučilište Tarbiat Modares, Teheran
 Građevinski fakultet
maryam.zeini@gmail.com



Abolfazl Khishdari, student
 Sveučilište Yazd, Yazd
 Građevinski fakultet
abolfazl_khishdari@yahoo.com

Prethodno priopćenje

Mostafa Adresi, Ali Mohammad Baghalishahi, Maryam Zeini, Abolfazl Khishdari

Utjecaj primjene metode ograničenja brzine na sigurnost autocesta

U radu su prikazani rezultati ispitivanja primjene različitih metoda ograničenja brzine: jednolike, diferencijalne i metode pojedinačnog prometnog traka. Rezultati pokazuju da metoda LBSL ima 20 % bolje rezultate od ostalih metoda s obzirom na kriterij sigurnosti, no za kriterij prometne učinkovitosti rezultati su 16 % slabiji od rezultata ostalih metoda. Štoviše, rezultati pokazuju da su zbog smanjenja dopuštene brzine sa 130 km/h na 100 km/h, prometni pokazatelj lošiji za 19 %, no sigurnost autoceste je povećana 20 %.

Ključne riječi:

sigurnost autocesta, cestovna mreža, učinkovitost, simulacija, VISSIM, SSAM

Scientific paper - Preliminary report

Mostafa Adresi, Ali Mohammad Baghalishahi, Maryam Zeini, Abolfazl Khishdari

Impact of speed limit method on motorway safety

Results obtained during the study of various speed limit methods, including uniform, differential, and lane-based methods, are presented in this paper. The results show that the LBSL strategy is by 20 % better than other methods when safety is considered, while its traffic performance is by almost 16 % lower compared to other methods. The results also show that traffic performance decreases approximately by 19 %, but safety increases roughly by 20 %, if the speed limit is reduced from 130 km/h to 100 km/h.

Ključne riječi:

motorway safety, road network, performance, simulation, VISSIM, SSAM

Vorherige Mitteilung

Mostafa Adresi, Ali Mohammad Baghalishahi, Maryam Zeini, Abolfazl Khishdari

Einfluss von Methoden der Geschwindigkeitsbegrenzung auf die Sicherheit von Autobahnen

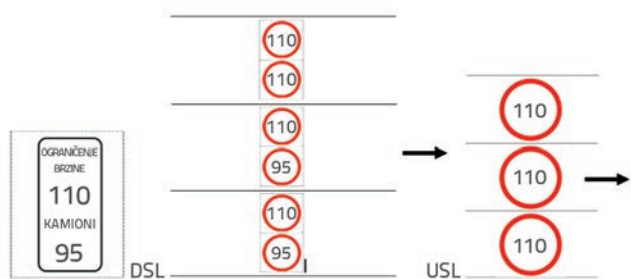
In dieser Arbeit werden die Resultate von Untersuchungen zur Anwendung verschiedener Methoden der Geschwindigkeitsbegrenzung dargestellt: einheitlicher und differentieller Methoden, sowie Methoden einzelner Fahrbahnen. Die Resultate zeigen, dass LBSL Methoden eine 20 % bessere Auswirkung im Vergleich zu anderen Methoden bezüglich Sicherheitskriterien haben, aber hinsichtlich Kriterien der Verkehrseffizienz 16 % schlechter abschneiden. Darüber hinaus zeigen die Resultate, dass durch ein Abmildern der Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h auf 100 km/h die Verkehrsparameter 19 % schlechter werden, die Sicherheit der Autobahn aber um 20% ansteigt.

Ključne riječi:

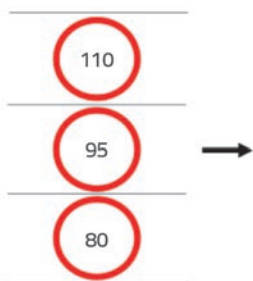
Sicherheit von Autobahnen, Straßennetz, Effizienz, Simulation, VISSIM, SSAM

1. Uvod

Sigurnost ceste i kvaliteta odvijanja prometnog toka ključni su faktori za bilo koju vrstu prometnica. Zbog povećane izgradnje prometnica, prije svega autocesta te ubrzanog razvoja tehnologije transporta, sigurnost prometa je postala vrlo važan čimbenik. S obzirom na visoke troškove prometnih nesreća, ograničenje brzine i s tim povezane metode postali su nezaobilazne teme i faktori koji utječu na sigurnost cesta. Brojni su istraživači, poput Evansa [1] i Elvika [2], tvrdili da je brzina najvažniji faktor koji utječe na učestalost i težinu nesreća na autocestama. Amir H. Ghods i suradnici [3] definirali su dvije glavne metode za ograničenje brzine - jednoliko ograničenje brzine (eng. *uniform speed limit* - USL) i diferencijalno ograničenje brzine (eng. *differential speed limit* - DSL) koje se temelje na dimenzijama, težini i manevarskim karakteristikama osobnih i teških teretnih vozila. Prema USL metodi, sva vozila bez obzira na vrstu (lagana ili teška), imaju isto ograničenje brzine dok u DSL strategiji, svaka vrsta vozila ima posebno ograničenje brzine. Naravno, ograničenje brzine za teška vozila je manje nego za osobna vozila (slika 1.).



Slika 1. Metode ograničenja brzine bazirane na vozilima (DSL, USL), brzine izražene u km/h



Slika 2. Ograničenje brzine prema prometnim trakovima (LBSL metoda), brzine su izražene u km/h

U DSL strategiji maksimalna brzina kamiona je 10 do 15 km/h manja nego za automobile u istim uvjetima. Primjerice u Michiganu ograničenje brzine za kamione iznosi 16 km/h (10 mph, mph = milja po satu) manje nego za automobile (95, odnosno 110 km/h redom, tj. 60 mph odnosno 70 mph) na državnim brzim cestama [4]. Stoga su ove metode ograničenja brzine okarakterizirane kao metode temeljene na vrsti vozila (eng. *vehicle based* - VB strategies). Postoji još jedna metoda

poznatija kao metoda temeljena na prometnom traku (eng. *Lane based speed limit* - LBSL), koja se primjenjuje u Iranu i drugim državama. Prema LBSL metodi, ograničenje brzine je različito za različite prometne trakove, a ne ovisi o vrsti vozila. Svaki trak ima svoje ograničenje brzine, koje se povećava prelaskom iz desnog traka u lijevi, a ograničenje je jednako za sve vrste vozila (lagana i teška) (slika 2.).

Neka istraživanja usmjerena su na metode ograničenja brzine s obzirom na prometnu učinkovitost naspram sigurnosti prometnice (USL & DSL metode). Freedman i Williams [5] proučavali su prometne pokazatelje nakon primjene DSL metode. Analizirali su podatke o brzinama prikupljene s 54 lokacije u 11 sjeveroistočnih saveznih država SAD-a i odredili utjecaj DSL metode na srednju brzinu i 85-postotne vrijednosti brzine.

Njihova su istraživanja dala iste rezultate kao što su dobili Harkey i Mera [6, 7] koji su zaključili da nema značajne razlike između srednje brzine osobnog automobila i kamiona i 85 % vrijednosti brzine, u usporedbi USL i DSL metoda.

U istraživanjima koja su usmjerena na sigurnost cesta, Harkey i Mera nisu uočili značajne razlike u brzinama na dionicama gdje je primijenjena USL odnosno DSL metoda. Međutim, Council i suradnici [8] zaključili su da bi nedovoljan razmak među automobilima i kamionima, na brzim autocestama koje primjenjuju DSL metodu mogao povećati težinu posljedica prometnih nesreća. Procjena koju je proveo *Odjel za prometnice Idaho* [9] pokazala je kako promijenjena metoda, tj. umjesto USL primijenjena je *DSL metoda*, nije povećala broj sudara. Međutim, postoji dokaz koji upućuje na to da primjena DSL metode može povećati broj nekih vrsta sudara, a druge smanjuje [6]. Istraživanje koje su proveli Garber i Gadiraju [10] pokazuje da stopa sudara, uz povećanje dopuštene brzine za kamione na 105 km/h (65 mph), u Saveznoj Državi Virginiji (u kojoj se primjenjuje DSL strategija) i zapadnoj Virginiji (u kojoj se primjenjuje USL strategija) nije rezultirala značajnim povećanjem teških nesreća i ukupnog broja nesreća. U većini prijevozničkih agencija, DSL metode su diskrecijske, inherentno ovisi o dogovoru između različitih vozača u prometu (automobila i kamiona). Solomon [11] je ustanovio U-oblik veze između stope sudara i veličine devijacije prosječne brzine vožnje. Povećanje varijacije brzine može dovesti do povećanja broja prometnih nesreća, prije svega nesreća u kojima sudjeluju automobili i kamioni. Rezultati vezani uz kriterij sigurnosti primjenom različitih metoda ograničenja brzine automobila i kamiona nisu isti u svim dosadašnjim istraživanjima. U nekim istraživanjima nema razlike između USL i DSL metode [7, 9, 10], dok rezultati drugih istraživanja pokazuju da je jedna metoda bolja od druge, i obrnuto [5, 8]. Većina tih istraživanja o utjecaju DSL metode na sigurnost ceste prihvaćena je nakon primjene *before and after* statističkog pristupa. Jedan od najvećih nedostataka statističkog pristupa jesu ograničene analize zbog manjka dostupnih podataka [3]. Stoga bi primjena mikroskopskog simulacijskog modela prometa i odgovarajućih pokazatelja sigurnosti mogla biti alternativni pristup za procjenu sigurnosti kod primjene metoda jednolikih (USL) i diferencijalnih ograničenja brzine (DSL) [3]. Saccomanno i suradnici [12]

razmotrili su prednosti takvog pristupa u istraživanju DSL metode i maksimalnog ograničenja brzine (MSL) za teška vozila koje su primijenili na dionicama autoceste.

U ovom su istraživanju utjecaji metoda LBSL i VB (VB metoda uključuje USL i DSL) na sigurnost i učinkovitost odvijanja prometnog toka analizirani za dionice autoceste u istovjetnim laboratorijskim uvjetima, koristeći računalni program VISSIM za simulaciju prometa. To je istraživanje značajno jer ne postoje prethodna istraživanja koja su usporedila te dvije metode ograničenja brzine (VB i LBSL).

2. Simulacijski model za autoceste

Utjecaj individualnih interakcija vozila je rezultat složenog procesa koji se može zabilježiti primjenom simulacija i ne može se objasniti jednostavnim analitičkim procesom [3]. U ovom je istraživanju mikroskopska simulacija prometa provedena primjenom programa VISSIM. Svako kretanje vozila u simuliranoj mreži je analizirano pojedinačno dok su istovremeno sva kretanja povezana s okruženjem simulirane prometne mreže. Odgovor svakog pojedinog vozila je uzet kao rezultat međusobne interakcije svih korisnika i vozila koji su u mreži. Parametri korišteni u modelu značajno mogu utjecati na rezultate [13]. Sve promjene u modelima slijeda vozila i modelu promjene traka mogu značajno utjecati na promet i izlazne podatke o sigurnosti dobivene primjenom simulacijskog modela. Shaykh AL-Slami i suradnici [14] te Safarzadeh i suradnici [15] opisali su VISSIM modele i njihove temeljne matematičke izraze te rezultate kalibracije. U ovom su istraživanju uzeta u obzir četiri individualna kriterija za ocjenu kvalitete odvijanja prometnog toka te pet individualnih kriterija sigurnosti kako bi se procijenila sigurnost i stanje prometa na prometnicama. Kriterij kvalitete prometnog toka procijenjen je promatrajući dva različita presjeka autoceste. Prvi je bio lociran na sredinu osnovne dionice autoceste, a drugi je presjek bio u sredini zone preplitanja. Navedeni presjeci prikazani su na slici 3. i označeni crvenom bojom.

Kriteriji odvijanja prometnog toka bili su: razlika brzina u različitim prometnim trakovima u dva presjeka, korištenje pojedinog traka u dva presjeka, vrijeme putovanja po kilometru i prosječna brzina u mreži.



Slika 3. Analizirane dionice autoceste

Trajektorije vozila koje su dobivene kao rezultati simulacijskog modela VISSIM primijenjene su za procjenu sigurnosti prometa koja se temelji na analizi konflikata. Analiza konflikata je metoda analize sigurnosti koja koristi podatke kritičnih situacija u prometu. Temeljena je na promatranju pojedinih pokreta vozila i prepoznavanju kritičnih situacija koje mogu rezultirati prometnim nezgodama. Kritične situacije su okarakterizirane

kao nagla kočenja, iznenadna promjena prometnog traka ili krivudanje (proklizavanje) cestom [16].

Parker i Zegeer [17] definiraju kritičnu situaciju kao događaj koji uključuje interakcije od najmanje dva vozila gdje barem jedno vozilo poduzima radnje kako bi se izbjegao neposredni sudar. Opasnost se događa u trenutku kada prednje vozilo naglo usporava ili mijenja prometni trak i tako siječe put vozilu iza sebe. Po mišljenju Parkera i Zegeera, sudar se događa kada se vozila nađu na istom konfliktnom pravcu, primjerice kada vozila pokušavaju koristiti isti prostor u isto vrijeme.

Prednost primjene analize konflikata jest mogućnost ispitivanja pojave kritičnih situacija gdje gotovo da je došlo do sudara, a takvih podataka nema u prometnim izvještajima. Takvi su događaji češći nego pravi sudari, a informacije o njima su jednako važne kao i podaci o sudaru [18]. Za vrednovanje provedenog istraživanja, osim parametra "vrijeme do sudara" (eng. *Time-to-Collision* - TCC), koje se definira kao odnos relativne brzine vozila i njihovog relativnog položaja, jednačba (1), uzeti su u obzir drugi kriteriji (PET, MaxS, DeltaS, DeltaV and MaxDeltaV):

$$TTC = \frac{X_i - X_{i+1} - L_i}{V_{i+1} - V_i} \quad (1)$$

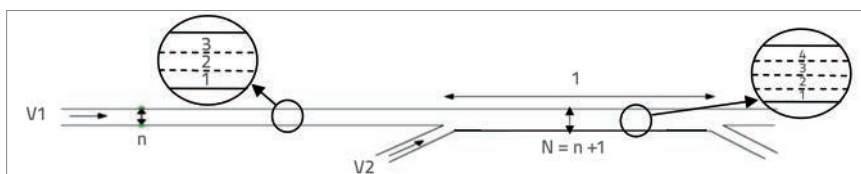
Ovdje izrazi X_i i X_{i+1} označavaju poziciju dvaju uzastopnih vozila, dok su oznake V_i i V_{i+1} njihove brzine, dok L_i predstavlja duljinu prednjeg vozila. PET je vremenska razlika između zadnjeg položaja prvog vozila i dolaska drugog vozila na tu istu poziciju. Vrijednost 0 označava stvarni sudar [14]. MaxS je maksimalna brzina bilo kojeg vozila tijekom sudara. DeltaS predstavlja razliku brzina vozila, $\Delta S = |V_1 - V_2|$. MaxDeltaV je maksimalna vrijednost DeltaV bilo kojeg vozila u konfliktu [19].

3. Simulacijske varijable (simulacijski podaci)

Simulacija je provedena na dijelu autoceste dugom 6 km, kao što se vidi na slici 3. Prvi kilometar je uzet u obzir kao početni i nije uključen u rezultate simulacije. Simulacija je trajala 70 min, uključujući početni 10-minutni interval za "punjenje" simulacijskog modela vozilima. Provedeno je prosječno po 10 simulacija za svaku metodu kontrole brzine (USL; DSL i LBSL). U simulaciji je ulazno prometno opterećenje bilo između 3750 i 9000 vozila po satu, a 10 do 15 posto vozila se odnosilo na kamione. Prema USL metodi, sva su vozila imala isto ograničenje brzine, bez obzira na vrstu vozila i prometni trak, dok je prema DSL metodi najveća razlika u dopuštenoj brzini automobila i kamiona iznosila 15 km/h. Budući da je Iranska organizacija za promet regularala dopuštenu razliku u brzinama za svaki pojedini trak, kod LBSL metode je primijenjena maksimalna razlika u brzinama (osobna vozila i kamioni) u iznosu od 15 km/h. Dakle, u simulaciji LBSL strategije, ako su u simulaciji tri traka, a maksimalno dopušteno ograničenje brzine 100 km/h, ograničenje brzine u svakom prometnom traku slijeva nadesno iznosi: 100, 85 i 60 km/h. Važno je napomenuti da je

Tablica 1. Analizirani parametri i scenariji

Simbol	Objašnjenje	Jedinica	Vrijednost	Varijante
L	Udaljenost između ulazne i izlazne rampe	[m]	650 i 850	2
N	Broj prometnih trakova na autocesti	-	3 i 4	2
V1	Ulazno opterećenje na osnovnoj dionici autoceste	[voz/h po traku]	750, 1250 i 1750	3
V2	Opterećenje na ulaznoj rampi	[voz/h]	1500 i 2000	2
T	Postotak teških vozila	[%]	10 i 15	2
Sc	Scenariji ograničenja brzine	-	USL, DSL i LBSL	3
SL	Maksimalno dopuštena brzina	[km/h]	100, 110, 120 i 130	4
Broj svih scenarija				576



Slika 4. Parametri u modelu

maksimalno ograničenje brzine, pretpostavljeno u modelu za simulaciju, uzelo u obzir 85 posto vozača. Kao što je prikazano na slici 4., broj prometnih trakova nije isti za analiziranu osnovnu dionicu autoceste i zonu prepletanja. U zoni prepletanja postoji još jedan trak u odnosu na osnovni presjek autoceste. U ovom istraživanju izabrani su neki od parametara za analizu te su različite vrijednosti pridjeljivane svakom od njih. Uzeto je u obzir ukupno 576 scenarija u ovom istraživanju, a taj je broj dobiven množenjem varijanti koje su prikazane u zadnjem stupcu tablice 1. Na slici 4. prikazane su neke od njih.

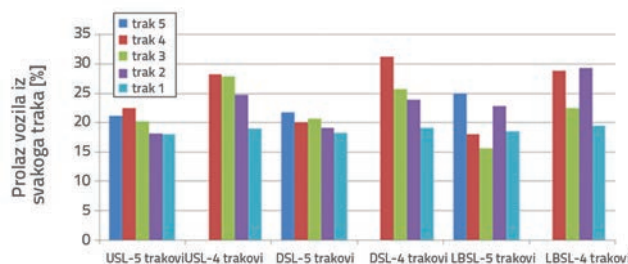
4. Analizirani model

Cilj je ovog istraživanja usporediti utjecaj različitih načina ograničenja brzine poput metoda USL, DSL i LBSL pri maksimalnim ograničenjima brzine od 100, 110, 120 i 130 km/h na funkcioniranje odvijanja prometnog toka i sigurnost. Analizirani su rezultati za različite scenarije ograničenja brzine. Prema navedenom, jedan od 9 kriterija (4 o funkcioniranju prometa i 5 o sigurnosti) označen je kao cilj i prikazan na pripadajućem grafu na slikama 5 do 12. Razlike u primijenjenim metodama su ispitivane usporedbom varijacija u svakom grafu za odgovarajući kriterij. Primijenjena je statistička analiza varijacija (eng. *Analysis Of Variance* - ANOVA) kako bi se kvantitativno verificirali rezultati.

4.1. Iskorištenost prometnog traka na području od ulazne do izlazne rampe (zona prepletanja)

Na slici 5. prikazana je usporedba korištenja prometnog traka nakon osmišljavanja različitih metoda s različitim brojem trakova između ulazne i izlazne rampe. Kada je duljina između tih rampi kritična, L = 850 m, usiljeni protok prometa se ne pojavljuje,

međutim kod duljine prepletanja L = 650 m pojavljuje se ograničeni protok vozila. U modelu su analizirani scenariji s četiri i pet prometnih trakova, s tim da je prvi trak smješten na desnom rubu autoceste za odgovarajući smjer.



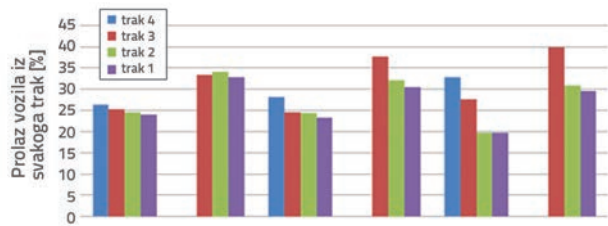
Slika 5. Iskorištenost traka za područje od ulazne do izlazne rampe (L = 650 m, V1 = 1750 voz/h po traku, V2 = 2000 voz/h, T = 15 %)

Na slici 5. može se vidjeti da se korištenje prometnog traka smanjuje od zadnjega prema prvome. Razlika u iskorištenosti između prvoga i četvrtoga traka na promatranom presjeku ceste bila je veća nego na presjeku s pet prometnih trakova. Također je zapaženo da se u LBSL metodi drugi prometni trak najviše koristio. Raspored dopuštenih brzina u LBSL metodi, koji se razlikovao od drugih pristupa, zapravo je razlog velikog korištenja drugoga prometnog traka. To znači da su neki od vozača koji su htjeli ući ili sići s autoceste skloniji koristiti prometni trak s većom dopuštenom brzinom kako bi se brže kretali. Rezultati pokazuju da primjenom LBSL metode vozila češće prelaze iz jednog traka u drugi, a time se smanjuje sigurnost na cesti. Ta strategija dovodi do prometne gužve u drugom traku koji zapravo služi kao prijelazni trak vozilima koja se kreću iz rubnog prema prvom i obrnuto. To može prouzročiti povećano korištenje drugog prometnog traka, što znači da je postotak vozila koja prelaze taj trak veći nego u drugim trakovima.

4.2. Iskorištenost prometnog traka na osnovnoj dionici autoceste

Na slici 6. može se vidjeti da se za sve metode od USL do LBSL koje su primijenjene za osnovnu dionicu autoceste s tri ili četiri

prometna traka, iskorištenost trakova povećavala od prvog (trak 1) do zadnjeg traka. To se događa zbog dva razloga.



Slika 6. Iskorištenost prometnog traka na osnovnoj dionici autoceste (L = 650 m, V1 = 1750 voz/h po traku, V2 = 2000 voz/h, T = 15 %)

Prvi je razlog taj da vozači žele završiti svoje putovanje što je brže moguće (mijenjanjem prometnog traka traže mogućnost da prestignu svako vozilo kako bi to ostvarili). Drugi je razlog, kao što se vidi na slici 7., što se brzina vozila razlikuje od prvog do zadnjeg prometnog traka pa vozači prelaze u brže trakove. Također se može zaključiti da se prema LBSL metodi, povećava prometna gužva u prometnim trakovima s većim brzinama (primjerice trećem u trotračnom presjeku i četvrtom u četvertračnom presjeku) na osnovnoj dionici autoceste, s tim da potencijalno pretjecanje opada ako je povećana mogućnost pretjecanja vozila s desne strane. Stoga je očekivano da primjena LBSL metode ima veći broj promjena prometnog traka u odnosu na druge dvije metode.

Rezultati mjerenja promjene prometnog traka nisu povezani s promjenom udaljenosti između ulazne i izlazne rampe, brojem prometnih trakova i postotkom teških vozila, ali su povezani sa scenarijem ograničenja brzine.

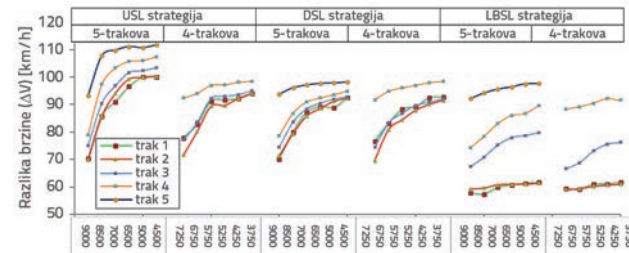
Može se zaključiti da se USL i DSL metode ne razlikuju s obzirom na postotak prolaska vozila osnovnim presjekom autoceste, ali obje se razlikuju od LBSL metode.

4.3. Razlika brzina po pojedinim trakovima za osnovni presjek autoceste i područje između ulazne i izlazne rampe

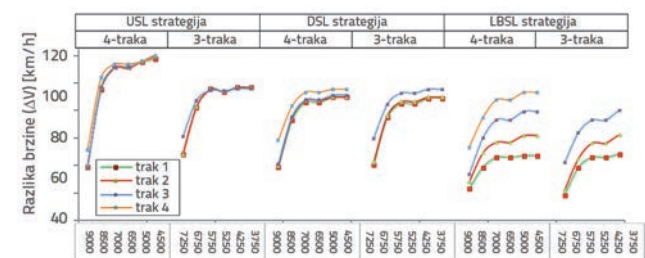
Slike 7. i 8. prikazuju usporedbu razlika brzina po pojedinim prometnim trakovima nakon implementacije različitih metoda za ograničenje brzine. Grafovi prikazuju maksimalnu razliku u brzinama između svih vozila koja koriste pojedini prometni trak. Slika 7. prikazuje usporedbu brzina na području između ulazne i izlazne rampe, dok je na slici 8. prikazana usporedba brzina za osnovni presjek autoceste. Napomena: na slikama 7. do 12. na osi x je prikazano ukupno prometno opterećenje V1+V2.

Nakon što su razmotreni svi grafički prikazi zaključeno je da je variranje brzina po trakovima u osnovnom presjeku i u presjeku između ulazne i izlazne rampe bilo jednako u USL i DSL metodi, ali se razlikovalo u LBSL metodi, gdje su razlike brzina bile veće nego u drugim scenarijima. Općenito, variranje brzina bilo je manje na osnovnom presjeku autoceste nego na području između ulazne i izlazne rampe (zona prepletanja). Može se

zaključiti da je u jednolijoj metodi veća brzina vožnje, ali su manje razlike u brzinama između svakog prometnog traka pa metoda USL ima najbolje prometne pokazatelje i mobilnost, a LBSL metodu karakteriziraju veća ometanja u prometnom toku.



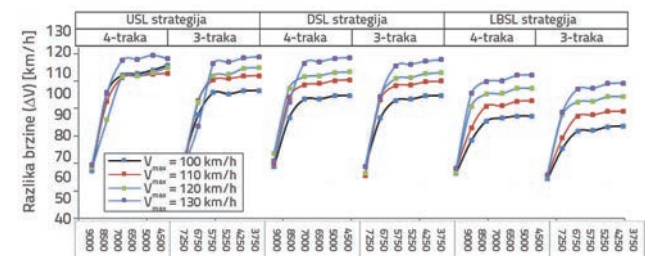
Slika 7. Grafički prikaz brzina po pojedinim prometnim trakovima na području između ulazne i izlazne rampe (L = 650 m, V_{max} = 120 km/h i T = 15 %)



Slika 8. Grafički prikaz razlika brzina po pojedinim prometnim trakovima na osnovnom presjeku autoceste (L = 650 m i T = 15 %)

4.4. Prosječna brzina u prometnoj mreži

Slika 9. prikazuje varijacije prosječne brzine u prometnoj mreži za različite primijenjene metode i za različita maksimalna ograničenja brzine koja su označena kao V_{max} (eng. *Maximum speed limit*)



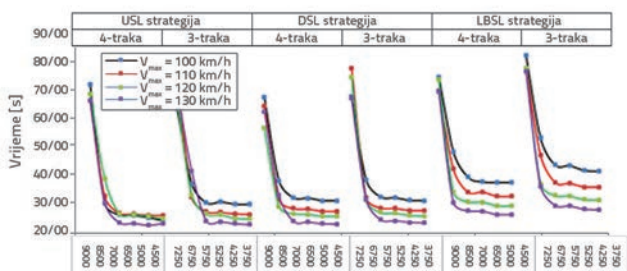
Slika 9. Grafički prikaz prosječne brzine u mreži (L = 650 m, V_{max} = 120 km/h, T = 15 %, V_{max} = maksimalno ograničenje brzine)

Rezultati pokazuju da su metode USL i DSL bile jednake, dok je LBSL metoda imala 16 % lošije vrijednosti. Također, jasno je da su nakon smanjenja broja trakova s četiri na tri traka, rezultati bili još nepovoljniji. Nadalje, može se uočiti kvalitetnije odvijanje prometnog toka i povećanje prosječne brzine vožnje kada variraju neki od parametara modela kao što su udaljenost

između rampi (od 650 m do 850 m), postotak teških vozila (od 20 % do 1 %) i ograničenje brzine (100 km/h do 130 km/h).

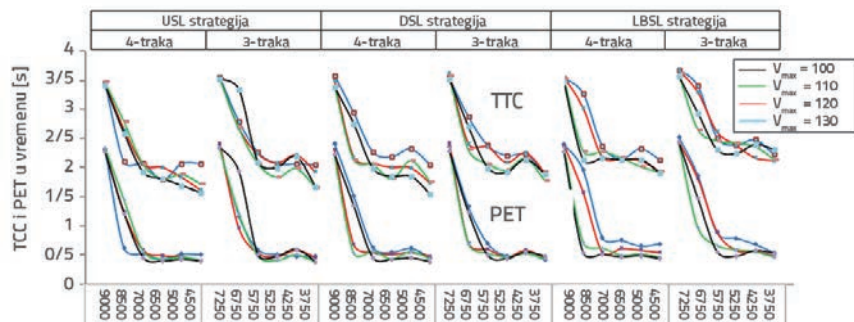
4.5. Vrijeme putovanja

Slika 10. prikazuje varijacije u vremenu putovanja za svaku primijenjenu metodu, s različitim ograničenjima brzine. Može se zaključiti da su rezultati USL i DSL metoda slični, što je i statistički dokazano. Nadalje, zaključeno je da su rezultati LBSL metode najnepovoljniji zbog najmanje prosječne brzine. Također, povećanjem dopuštene brzine vožnje, smanjuje se vrijeme putovanja.

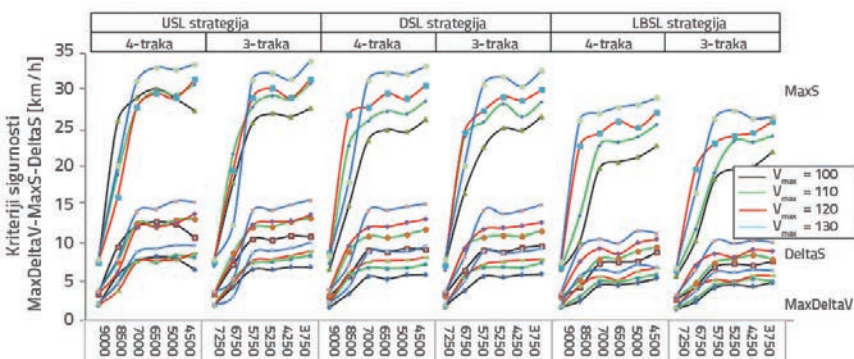


Slika 10. Vrijeme putovanja po kilometru (L = 650 m, T = 15 %)

Kao što je prikazano na slikama 9. i 10., metoda DSL je vrlo slična USL metodi. Razlika u rezultatima između USL i LBSL metoda veća je nego kod usporedbe DSL i LBSL metoda.



Slika 11. Grafički prikaz kriterija sigurnosti TTC i PET (L = 650, V_{max} = 120 km/h, T = 15 %)



Slika 12. Varijacije kriterija sigurnosti (MaxDeltaV, MaxS, DeltaS) za: L = 650 m, V_{max} = 120 km/h, T = 15 %

Dakle, analizom grafa može se zaključiti da su metode USL i DSL približno jednake, ali se obje razlikuju od LBSL metode. Stoga se može zaključiti da se metodom LBSL postiže najslabiji učinak u odvijanju prometnog toka od svih promatranih metoda.

4.6. Kriteriji sigurnosti TTC i PET

Na slici 11. prikazana je usporedba kriterija sigurnosti nakon primjene različitih metoda. Grafovi u gornjem dijelu slike se odnose na kriterij "vrijeme do sudara" (eng. *time to collision* - TTC), a u donjem redu odnose se na kriterij PET (eng. *post-encroachment-time* - PET), tj. vrijeme između trenutka kada jedno vozilo napušta promatrani presjek i trenutka kada sljedeće vozilo dolazi do promatranih presjeka.

Neočekivano, grafovi i statističke analize su pokazali da primjena LBSL metode nije utjecala na razinu sigurnosti. Na temelju analize grafova i analitičkih proračuna zaključeno je da je za sigurnost prometa poželjno koristiti LBSL metodu. Ona je bolja od ostalih metoda za 15 % uzimajući u obzir kriterij sigurnosti TTC, te za 24 % gledajući kriterij sigurnosti PET. Taj je rezultat opravdan nižom prosječnom brzinom cijele prometne mreže u LBSL metodi za razliku od druge dvije metode. Kao rezultat, može se očekivati da LBSL metoda ima bolje uvjete sigurnosti od ostalih. Analiza varijacije je pokazala da su pojedine metode potpuno neovisne.

Također, rezultati testa ANOVA su pokazali da USL i DSL imaju iste uvjete sigurnosti koji se ne razlikuju znatno. To je potvrdilo rezultate prethodnih istraživanja. Štoviše, primjenom ANOVA testa je zaključeno da je povećanje dopuštene brzine sa 100 na 130 km/h uzrokovalo smanjenje prosječne vrijednosti faktora sigurnosti TTC za 12 %, a faktora PET za 21 %. Kao što je i parametar iskorištenosti prometnog traka pokazao prije, u LBSL metodi dolazi do češćeg mijenjanja prometnog traka te se povećava udio vozila u brzom (zadnjem) traku u odnosu na druge, a to smanjuje mogućnost legalnog pretjecanja što može dovesti do prometnih nezgoda. Dakle, trebalo bi očekivati da će LBSL metoda imati najmanju sigurnost. Međutim, faktori sigurnosti pokazuju da upravo ta metoda ima najbolje uvjete sigurnosti. Razlog može biti manja brzina u mreži (lošija kvaliteta toka) negoli češće mijenjanja prometnih trakova i nelegalno pretjecanje u prometnom toku. To znači da su uvjeti sigurnosti osjetljiviji na ograničenja brzine u odnosu na neke druge parametre poput mijenjanja traka i nelegalnog pretjecanja vozila.

Tablica 2. Rezultati jednosmjerne i dvosmjerne analize varijacija (ANOVA)

Kriteriji							Naziv	ANOVA analiza
Sigurnost					Odvijanje prometnog toka			
MaxDeltaV	DeltaS	MaxS	PET	TTC	Vrijeme putovanja	Prosječna brzina		
0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	Metoda ograničenja brzine P-vrijednost	Dvosmjerna
IN,	IN,	IN,	IN,	IN,	IN,	IN,*	Interpretacija	
0,000	0,000	0,000	,016	0,000	0,000	0,000	Maksimalno ograničenje brzine P-vrijednost	
IN,	IN,	IN,	IN,	IN,	IN,	IN,	interpretacija	
0,692	0,582	0,930	0,849	0,998	0,502	0,746	Interakcija P-vrijednost	
Bez interakcije	Bez interakcije	Bez interakcije	Bez interakcije	Bez interakcije	Bez interakcije	Bez interakcije	Interpretacija	
6,477	10,463	24,222	0,774	2,298	<u>38,12</u>	<u>98,92***</u>	DSL-vrijednost	Jednosmjerna za metode
6,829	10,985	24,828	0,781	2,270	<u>38,02</u>	<u>100,08</u>	USL-vrijednost	
<u>4,797</u>	<u>7,760</u>	<u>19,956</u>	<u>0,956</u>	<u>2,600</u>	44,81	84,41	LBSL- vrijednost	
4,992	8,046	19,920	0,969	2,567	44,87	83,97	100 km/h - vrijednost	Jednosmjerna za maksimalna ograničenja brzine
5,825	9,414	22,437	0,844	2,399	40,85	92,62	110 km/h - vrijednost	
6,296	10,147	23,999	0,772	2,329	38,97	97,22	120 km/h - vrijednost	
7,024	11,337	25,651	0,764	2,270	36,57	104,06	130 km/h - vrijednost	

IN, = nezavisni
* Izraz nezavisni je primijenjen u jednosmjernoj i dvosmjernoj analizi varijacija gdje parametri nemaju međusobni utjecaj (ili je barem jedan od njih različit)
** Ako DSL, USL i LBSL metode i dopuštene brzine 100, 110, 120 i 130 km/h nemaju međusobni utjecaj, dvosmjerna analiza nije potrebna, Ispitivanje svakog parametra treba provesti neovisno o drugim parametrima, Dakle, jednosmjerna analiza varijanci je u ovom slučaju prikladna,
*** Najpovoljniji ishodi su podcrtni

4.7. Varijacije različitih kriterija sigurnosti

Slika 12. prikazuje varijacije različitih kriterija sigurnosti uključujući maksimalne razlike brzina (MaxDeltaV), maksimalne brzine vozila (MaxS) i razlike brzina vozila (DeltaS) nakon implementacije različitih metoda. Na slici su u gornjem redu prikazani grafovi za ocjenu MaxS, grafovi u sredini se odnose na DeltaS, a u donjem redu su prikazani grafovi za MaxDeltaV.

Može se zaključiti da je u LBSL metodi manja varijacija maksimalne brzine MaxDeltaV (približno 27 %) u odnosu na druge metode. S druge strane, varijacije u brzini mogu dovesti do povećanja prosječnog ubrzanja prilikom sudara. Stoga, što je manje maksimalno ubrzanje, manja je težina sudara. Kao rezultat, u cijeloj prometnoj mreži, smanjenje varijacije maksimalne brzine poboljšava sigurnost prometa i udobnost vožnje. LBSL metoda je imala približno 19 % manju maksimalnu brzinu (MaxS) u odnosu na druge metode. Budući da se u slučaju sudara maksimalna brzina smanjuje, uvjeti sigurnosti sustava su poboljšani, pa je vjerojatnost sudara znatno smanjena. Zaključeno je da LBSL metoda ima manju stopu varijacije brzina (približno 27 %) nego druge metode. Međutim, kako su varijacije brzine u sustavu smanjene, postale su homogenije, pa je sigurnost prometa poboljšana.

Konačno, ispitivanjem triju kriterija MaxDeltaV- MaxS-DeltaS pomoću grafova i statističkim analizama, zaključeno je da LBSL metoda daje bolje uvjete sigurnosti na cesti za razliku od ostalih metoda. Analizom varijacija je zaključeno da su druge metode nezavisne, odnosno nije postojala nikakva interakcija između njih. Također, jednosmjerna analiza varijacije kojom su promatrani parametri MaxDeltaV - MaxS - DeltaS pokazala je da su USL i DSL strategije iste u odnosu na sigurnost s neznatnim razlikama. Primjena testa ANOVA, uzimajući u obzir tri kriterija, MaxDeltaV - MaxS - DeltaS, pokazuje da se smanjenjem maksimalnog ograničenja brzine znatno je poboljšava sigurnost (približno 30 %).

5. Rezultati testa ANOVA

Analiza varijacije (ANOVA) primijenjena je kako bi se analizirale razlike srednjih vrijednosti u skupini podataka i ispitalo jesu li srednje vrijednosti iste u grupiranim podacima ili nisu. Dakle, t-test obuhvaća više od dvije skupine podataka.

ANOVA je poseban oblik statističkog hipotetskog ispitivanja koji se primjenjuje često u analizi eksperimentalnih podataka. Statistički značajan rezultat opravdava odbacivanje nulte hipoteze kada je vjerojatnost (P-vrijednost) manja od praga

(razina značajnosti). U ovom se istraživanju nulta hipoteza odnosi na to da su sve metode ograničenja brzine i sva maksimalna ograničenja brzine jednaka [20]. U procesu analize, primjenom ANOVA dvosmjernog testa određena je interakcija između ova dva glavna parametra (primijenjena metoda i maksimalno ograničenje brzine). Kao što je prikazano u tablici 2, mogući scenariji ograničenja brzine i maksimalnog ograničenja brzine nemaju međusobni utjecaj i nezavisni su. Stoga se može primijeniti jednosmjerna analiza varijacija. Dvosmjerna analiza varijacije je pokazala da je svih sedam kriterija neovisno o metodi ograničenja brzine i vrijednosti maksimalnog ograničenja brzine jer je P-vrijednost u oba slučaja $< 0,05$, gdje je $0,05$ razina značajnosti ($\alpha = 0,05$) [20]. To znači da se kod svih sedam kriterija statistički razlikuje najmanje jedno maksimalno ograničenje brzine ili metoda ograničenja brzine. Primjerice, prema rezultatima prikazanim u tablici 2, za jednosmjernu analizu varijance metoda (eng. *one-way for scenarios*) nema značajne razlike između USL i DSL metoda za svih sedam kriterija, ali se te dvije metode znatno razlikuju od LBSL metode jer je P-vrijednost manja od kritične. Rezultati jednosmjerne analize varijacije za kriterij prosječne brzine pokazuju da se USL i DSL metode ne razlikuju mnogo, ali postoji znatna razlika u odnosu na LBSL metodu. Očividno je da se prometna učinkovitost poboljšava porastom prosječne brzine.

6. Zaključak

U ovom su istraživanju analizirane različite metode za ograničenje brzine vozila na autocestama, a primjenjuju se u Iranu i drugim državama. Metoda koja se provodi u Iranu je uspoređena s drugim metodama s obzirom na kriterije

sigurnosti i odvijanja prometnog toka. Primijenjen je simulacijski model VISSIM za usporedbu metoda i njihovih ishoda u različitim uvjetima prometa i geometrijskih karakteristika.

Korišten je također i SSAM za detaljne analize sigurnosti autoceste. Rezultati su uspoređeni grafički te kvantitativnim statističkim alatima poput testa ANOVA. Na temelju analiza napravljena je usporedba metoda u smislu sigurnosti i načina odvijanja prometnog toka na promatranoj mreži.

Ispitivanje je pokazalo da metoda LSBL (ograničenje brzine prema prometnom traku) ima nepovoljnije rezultate vezane uz prometnu učinkovitost (prosječna brzina cijele mreže i prosječno vrijeme putovanja) u odnosu na DSL i USL metode. Rezultati simulacije su pokazali da LBSL metoda ima lošije prometne pokazatelje (16 % slabiji rezultati) od USL i DSL metoda, no pokazala je bolje rezultate s obzirom na uvjete sigurnosti (20 % bolji rezultati).

Rezultati su također pokazali da su razlike u brzinama i mogućnost mijenjanja prometnih trakova u LBSL metodi bili veći s obzirom na druge metode. Međutim, prosječna brzina vožnje u LBSL metodi, s istim ograničenjima brzine, bila je manja nego u drugim metodama. Što se tiče sigurnosti, LBSL metoda se pokazala boljom u odnosu na ostale dvije metode.

Usporedba utjecaja primijenjenih USL i DSL metoda pokazala je da one imaju neznatan utjecaj na prosječnu brzinu. To znači da razlike u brzini između lakih i teških vozila nemaju značajan utjecaj na prosječnu brzinu u cestovnoj mreži.

Uzimajući u obzir oba kriterija, odvijanje prometnog toka i sigurnost ceste, nema značajnih prednosti između USL i DSL metoda te se može zaključiti da su najveće razlike bile između LBSL i VB metoda.

Nadalje, rezultati su pokazali da se kod smanjenja dopuštene brzine sa 130 na 110 km/h odvijanje prometa pogoršava za približno 19 % dok je sigurnost ceste povećana za približno 20 %.

LITERATURA

- [1] Evans, L.: Traffic safety and the driver. Van Nostrand Reinhold Company, First edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1991.
- [2] Elvik, R.: Speed and road safety: Synthesis of evidence from evaluation studies, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, pp. 59-69, 2006.
- [3] Ghods, A., Saccomanno, F., Guido, G.: Effect of Car/Truck Differential Speed Limits on Two-Lane Highways Safety Operation using Microscopic Simulation, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 53 (2001), pp. 834 – 841
- [4] GHSA. State speed limit laws. In Governors Highway Safety Association, http://www.ghsa.org/html/stateinfo/laws/speedlimit_laws.html, 15.07.2012
- [5] Freedman, M., Williams, A. F.: Speeds Associated with 55 mph and 65 mph Speed Limits in Northeastern States, ITE Journal, 2 (1992), pp. 17-21
- [6] US Department of Transportation, The Safety Impacts of Differential Speed Limits on Rural Interstate Highways, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-HRT-04-156, Washington DC, 2004.
- [7] Harkey, D.L., Mera, R.: Safety Impacts of Different Speed Limits on Cars and Trucks, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-RD-93-161, Washington DC, 1994
- [8] Duncan, C.S., Khattak, A.J., Council, F.M.: Applying the Ordered Probit Model to Injury Severity in Truck-Passenger Car Rear-End Collisions, Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 1635, pp. 63-71, 1998.
- [9] Idaho Transportation Department Planning Division, Evaluation of the Impacts of Reducing Truck Speeds on Interstate Highways in Idaho, - Phase III, Final Report, National Institute for Advanced Transportation Technology, University of Idaho, 2000.

- [10] Garber, N.J., Gadiraju, R.: Impact of Differential Speed Limits on Highway Speeds and Accidents, Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, 58 p., 1991.
- [11] United States. Bureau of Public Roads, Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle, For sale by the Superintendent of Documents, US Govt. Print. Off, 1964.
- [12] Saccomanno, F.F., Duong, D., Cunto, F., Hellinga, B., Philp, C., Thiffault, P.: Safety implications of mandated truck speed limiters on freeways, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2096, pp. 65-75, 2009.
- [13] VISSIM 5.10 user manual, PTV, <http://www.ptvamerica.com>, 10.AG.2008.
- [14] Shaykh Al-Slami, A., Baghalishahi, A.M., Gahrpoor, A.A.: Investigation of impacts of truck lane restriction strategies on freeway traffic performance with simulation, Journal of transportation research institute, pp. 377-388, 2011.
- [15] Safarzadeh, M., Adressi, M., Baghalishahi, A.M.: Investigation of car-following models in traffic simulation using VISSIM simulation software, journal of Police-Rahvar, Iran, 2010.
- [16] Muchuruza, V.F.: Simulation of traffic crashes using cell based micro-simulation, The Florida State University FAMU-FSU College of engineering, A Dissertation submitted to the Department of Civil and Environmental Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2006.
- [17] Parker, M.R., Zegeer, Jr., Zegeer, C.V.: Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations: Engineers Guide, Report FHWA-IP-88-026, FHWA, U. S. Department of Transportation, Washington, D.C, 1989.
- [18] Van der Horst, A.R.A.: A Time-Based Analysis of Road User Behavior in Normal and Critical Encounters, TNO Institute for Perception, Soesterberg, Netherlands, 1990.
- [19] Joshi, L., Joshi, R.: FHWA-HRT-08-050, Surrogate Safety Assessment Model (SSAM): Software User Manual, 2008.
- [20] Gelman, A.: Variance, analysis of, in book: The new Palgrave dictionary of economics (eds.: Durlauf, N.S., Blume, E.L.), Basingstoke, Hampshire New York: Palgrave Macmillan. (2008). ISBN 978-0-333-78676-5, <http://dx.doi.org/10.1057/9780230226203.1787>