

# ANALIZA KARAKTERISTIKA UBRZAVANJA VOZILA

## ANALYSIS OF VEHICLE ACCELERATION CHARACTERISTICS

Sreten Simović<sup>1</sup>; Zoran Miljanić<sup>2</sup>

XIV Simpozijum  
"Veštacanje saobraćajnih nezgoda  
i prevare u osiguranju"

**Rezime:** U saobraćajno-tehničkim vještacenjima nezgoda nastalih u raskrsnici potrebno je utvrditi brzine vozila u momentu kontakta. U nekim slučajevima brzinu je moguće utvrditi samo na osnovu poznatog ubrzanja na poznatoj dužini puta koje je vozilo prešlo od mesta pokretanja do mesta kontakta. Uobičajeno je da se ubrzanje računa na osnovu vremena potrebnog za postizanje brzine od 100 km/h, pri čemu se često zanemaruje činjenica da se u procesu ubrzavanja veće vrijednosti ubrzanja postižu u prvim fazama pokretanja vozila. Imajući u vidu prethodno navedeno, posebno u slučaju nepostojanja podatka o karakteristici ubrzanja vozila, analiza prikazana u ovom radu daće osnovne postavke koje će u određenoj mjeri ukazati na potrebu proširivanja obima analize nezgoda sa uticajem parametara koji karakterišu proces ubrzavanja vozila.

**KLJUČNE REČI:** UBRZANJE, VOZILO, SUDAR, PROSTORNO-VREMENSKA ANALIZA, TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

**Abstract:** In traffic-technical expertise of accidents that have occurred at a crossroad it is necessary to determine vehicle speeds in the moment of contact. In some cases, the speed can only be determined based on the known acceleration at a known distance that the vehicle has traveled from the starting place to the place of contact. The acceleration is commonly calculated based on the time required to achieve speed of 100 km/h, while frequently neglecting the fact that higher acceleration values in the process of acceleration are achieved in early stages of vehicle movement. Having in mind the above mentioned, especially in the absence of data on the vehicle acceleration characteristics, the analysis presented in this paper will provide basic settings that will, to some extent, indicate the need for expanding the scope of the analysis of accidents involving the impact of parameters that characterize the vehicle acceleration process.

**KEY WORDS:** ACCELERATION, VEHICLE, COLLISION, TIME-SPATIAL ANALYSIS, TECHNICAL CHARACTERISTICS

1 Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica, sretens@ac.me

2 Lovćen osiguranje AD Podgorica, Podgorica, zoran.miljanic@lo.co.me

## 1. UVOD

Čest je slučaj da se pri analizi saobraćajnih nezgoda do kojih je došlo na raskrsnicama javlja problem koji se ogleda u nemogućnosti jasnog definisanja propusta učesnika nezgode, jer je činjenica da često nije moguće definisati ponašanje učesnika nezgode u smislu ustupanja, odnosno ne ustupanja prvenstva prolaza. U tom slučaju, pošto propuste saobraćajno-tehničkim vještačenjem uglavnom nije moguće detaljno opisati, činjenica je da je Sud prinuđen da svoj zaključak bazira na ocjeni izjava učesnika i/ili svjedoka nezgode.

U ovakvim slučajevima, sa stanovišta saobraćajno-tehničkog vještačenja, u cilju obezbjeđivanja detaljnijih tehničkih činjenica, nakon analize brzina kretanja vozila, analiza može biti provedena sa ciljem provjere mogućnosti postizanja utvrđenih brzina kretanja, prvenstveno vozila koje je npr. krenulo iz stanja mirovanja i iz određene pozicije.

Za ovaku analizu moramo raspolagati podacima o karakteristikama ubrzavanja vozila učesnika nezgode. Ovdje se javlja problem što su ovi podaci dati kao prosječna vrijednost ubrzanja na putu ubrzavanja do određene dogovorom određene brzine, a ona najčešće iznosi 100 km/h.

Podaci o karakteristikama ubrzavanja do određenih, nižih, vrijednosti brzina takođe postoje, ali su dati sa orijentacionim ili prosječnim vrijednostima za određene kategorije vozila, čije će korišćenje imajući u vidu raznolikost karakteristika, čak i unutar samo jedne kategorije vozila, neminovno voditi do greške u proračunu.

Takođe, nesporan je nedostatak podataka koji se tiču karakteristika ubrzavanja teretnih vozila i autobusa, a posebno u slučaju kada se pri analizi mora uzeti u obzir opterećenost vozila, nagib i karakteristika podloge i sl.

Problem se jasno ističe naglašavanjem činjenice da vozilo ne ostvaruje iste vrijednosti ubrzavanja u cijelom dijapazonu promjene brzine. Kako je često kod saobraćajnih nezgoda do kontakta vozila došlo pri brzini koja je značajno manja od 100 km/h, to uslovjava potrebu izvođenja detaljnije analize procesa ubrzavanja, prvenstveno zbog činjenice da na postignutu vrijednost utiče veliki broj faktora.

Imajući u vidu prethodno navedeno, posebno u slučaju nepostojanja podatka o karakteristici ubrzavanja vozila, analiza prikazana u ovom radu daće osnovne postavke koje će ukazati na potrebu proširivanja obima analize saobraćajnih nezgoda uključivanjem analize uticaja više parametara koji karakterišu proces ubrzavanja vozila.

## 2. OSNOVNE POSTAVKE

Performanse vozila predstavljaju jedan od važnijih karakteristika za njihove korisnike. U smislu utvrđivanja realnih performansi vrše se laboratorijsko-putna ispitivanja vozila koja u osnovi predstavljaju provjeru ostvarenih preformansi, a koje su prethodno orijentaciono procijenjene vučno-dinamičkim proračunom, [1]. Pri takvim ispitivanjima se prije svega određuje maksimalna brzina, sposobnost savlađivanja uspona, vrijeme i put zaleta, potrošnja goriva i sl.

Među mjeranim parametrima, kao jedan od značajnijih, svakako je utvrđivanje maksimalne brzine koju vozilo može postići i ovaj podatak se uvijek navodi u skupu raspoloživih informacija o karakteristikama vozila.

Postupak utvrđivanja maksimalne brzine putničkih vozila kategorije M<sub>1</sub> definisan je Pravilnikom UN ECE br. 68, [2], a za mopede i motocikle standardima ISO 7116 i 7117.

Navedeni dokumenti definišu način utvrđivanja maksimalne brzine kretanja vozila, u sklopu kojih su definisani načini pripreme vozila i njihovo opterećenje. Tako je definisano da se maksimalna brzina određuje pri opterećenju putničkog vozila opterećenjem od 180 kg, na dva prednja sjedišta, pri čemu staza za mjerjenje brzine mora biti duga najmanje 2000 m, kružnog oblika, sa definisanim najmanjim poluprečnikom krivine. Propis definiše i dužinu dijela staze na kome se

mjeri maksimalna brzina i on mora biti prav u dužini od najmanje 400 m, sa dobrom podlogom, bočnog nagiba koji ne smije biti veći od 0.5%. Atmosferski uslovi se svode na normalne ( $20^{\circ}\text{C}$  i 1 bar), brzina vjetra ne smije biti veća od 3 m/s, a vlažnost vazduha mora biti manja od 95%.

ISO standardi definišu sličan način pripreme vozila za ispitivanje maksimalne brzine. Pri ispitivanju motocikala maksimalna brzina se određuje pri opterećenju motocikla vozačem mase  $70\div75$  kg i visine  $1.65\div1.75$  m. Zahtjevi koji se postavljaju pred test stazu su slični zahtjevima koji su navedeni za vozilo kategorije M<sub>1</sub>, a dio staze na kojoj se mjeri maksimalna brzina mora biti prav u dužini od najmanje 200 m.

Kako propisi ne definišu način utvrđivanja karakteristika ubrzavanja vozila, mjerjenje vremena i puta zaleta se u suštini vrši prema metodologiji koja se koristi za mjerjenje maksimalne brzine i pri tome se najčešće koriste:

- mjerjenje vremena zaleta od polaska iz mjesta do brzine koja je bliska maksimalnoj, uz konstatovanje vremena dostizanja parcijalnih brzina,
- mjerjenje vremena zaleta od polaska iz mjesta do dostizanja neke određene, dogovorno usvojene brzine, ili do prelaska određene dužine putne dionice,
- mjerjenje vremena zaleta od neke niže do neke više vrijednosti brzine.

Činjenica je, međutim, da se do karakteristika vozila koje se tiču karakteristike ubrzavanja često dolazi analitičkim proračunom.

Na osnovu vrijednosti dobijenih prethodno navedenim postupcima date su određene preporuke o usvajanju podatka o mogućnostima ubrzavanja vozila i one su najčešće razvrstane na vrijednosti date za određene kategorije vozila. S tim u vezi u Tabeli 1 su prikazane vrijednosti maksimalnih ubrzanja za putnička vozila sa odnosom masa/snaga motora  $18.25 \text{ kg/kW}$  i skupa vozila, koju čine tegljač i poluprikolica, sa odnosom masa/snaga motora  $121.66 \text{ kg/kW}$ , [3], dok su u Tabeli 2 date prosječne vrijednosti ubrzanja nekih transportnih vozila, [4].

**Tabela 1. Maksimalna ubrzanja putničkih vozila i skupa vučnog vozila i poluprikolice**

| Dijapazon brzine [km/h] | Ubrzanje [ $\text{m/s}^2$ ] za            |  |
|-------------------------|---|--|
|                         | Putničko vozilo ( $18.25 \text{ kg/kW}$ ) | Skup vozila ( $121.66 \text{ kg/kW}$ ) |
| 0÷32                    | 2.29                                      | 0.49                                   |
| 32÷48                   | 1.98                                      | 0.40                                   |
| 48÷64                   | 1.80                                      | 0.21                                   |
| 64÷80                   | 1.58                                      | 0.21                                   |
| 80÷97                   | 1.40                                      | 0.09                                   |

**Tabela 2. Prosječne vrijednosti ubrzanja nekih transportnih vozila**

| Vozila   | Ubrzanje [ $\text{m/s}^2$ ] |                           |
|----------|-----------------------------|---------------------------|
|          | I stepen prenosa            | Posljednji stepen prenosa |
| Putnička | 2.0÷2.5                     | 0.5÷1.2                   |
| Teretna  | 1.7÷2.0                     | 0.2÷0.5                   |
| Autobusi | 1.8÷2.3                     | 0.4÷0.8                   |

Potreba analize određenih karakteristika saobraćajnica ili radnji u saobraćaju takođe zahtijeva da raspoložemo podacima o karakteristikama ubrzavanja, npr. pri analizi dužina traka za ubrzavanje i sl., ali se ovi podaci ponovo daju sa orientacionim vrijednostima i najčešće su grupisani po kriterijumima koji nisu od značaja za analizu koja je predmet ovog rada. Tako se npr. u literaturi [5] navode prosječne vrijednosti ubrzanja koje se koriste za proračun bezbjednog rastojanja za uključivanje vozila i oni su prikazani u Tabeli 3.

**Tabela 3.** Vrijednosti ubrzanja za proračun bezbjednog rastojanja za uključivanje

| Vrsta puta                                  | Ubrzanje [m/s <sup>2</sup> ] |
|---|------------------------------|
| Naseljeno mjesto                            | 2.0                          |
| Put van naselja                             | 1.5                          |
| Put rezervisan za saobraćaj motornih vozila | 1.2                          |
| Auto-put                                    | 1.0                          |

Prethodno navedeno upućuje na zaključak da podatke o prosječnim vrijednostima ubrzanja kod analize saobraćajnih nezgoda uglavnom ne možemo koristiti zbog činjenice da ne možemo biti sigurni u preciznost usvojenog podatka čime bi greška koju potencijalno možemo napraviti bila značajna i time bi ugrozila validnost nalaza koji u svom sadržaju koristi takav podatak

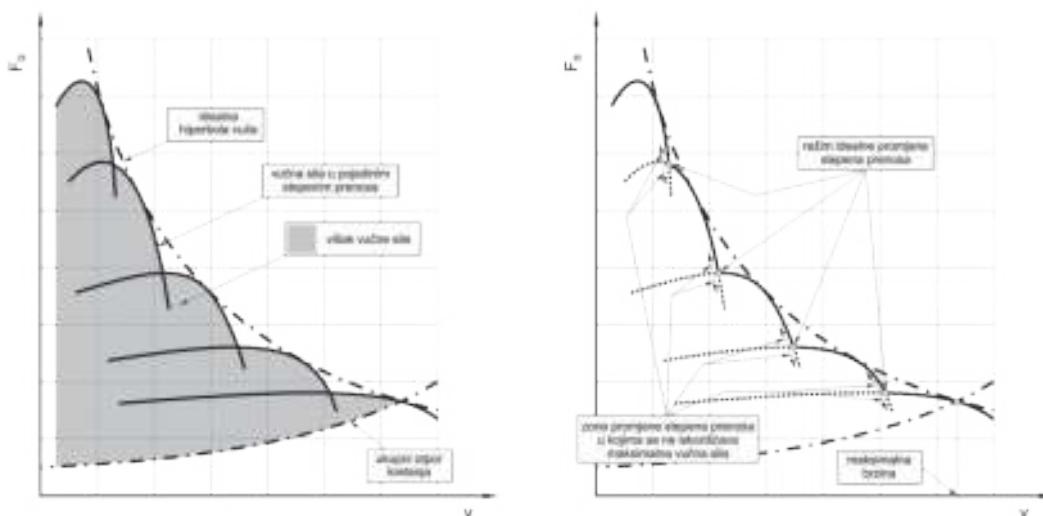
### **3. ANALIZA**

Kao korisnici vozila imamo mogućnost da saznamo podatak o ubrzaju vozila, ali je činjenica da nam taj podatak nije dovoljan da takvo ubrzanje i ostvarimo jer ne raspolažemo detaljnijim podacima o načinu, odnosno o režimu vožnje kojim možemo postići utvrđenu karakteristiku zaleta.

Činjenica je, međutim, da veoma mali broj korisnika vozila raspolaže podacima o potrebnom režimu vožnje, u smislu promjene stepena prenosa i intenziteta ubrzavanja kojim se postiže najveća vrijednost ubrzanja. Na osnovu prethodno navedenog smatramo da je potrebno dati osnovne postavke procesa ubrzavanja vozila u smislu potrebnog stila vožnje u kome od vozila dobijamo maksimum u smislu ubrzanja.

Na osnovu skupa karakteristika motornih vozila koji utiču na mogućnosti ubrzavanja, odnosno na osnovu dimenzionalih i masenih parametara vozila, karakteristika pogonskog motora na spoljnoj karakteristici, karakteristika prenosnika snage i dr., jasno je da se pri ovoj analizi mora posvetiti pažnja na vučno-brzinske karakteristike vozila.

Kao korisnici vozila nismo u mogućnosti da precizno pratimo određene karakteristike vozila, pa s tim u vezi, nismo u mogućnosti da bez pomoći modernih elektronskih sistema, u toku ubrzavanja vozila, biramo režim promjene stepena prenosa u cilju ostvarivanja najveće mogućnosti ubrzanja. S prethodnim u vezi potrebno je istaći da se najbolja karakteristika vozila postiže korišćenjem najbolje mogućnosti ubrzavanja odnosno izborom režima promjena stepena prenosa koji odgovaraju tačkama presjeka brzinskih karakteristika promjene vučne sile u pojedinim stepenima prenosa, slika 1.

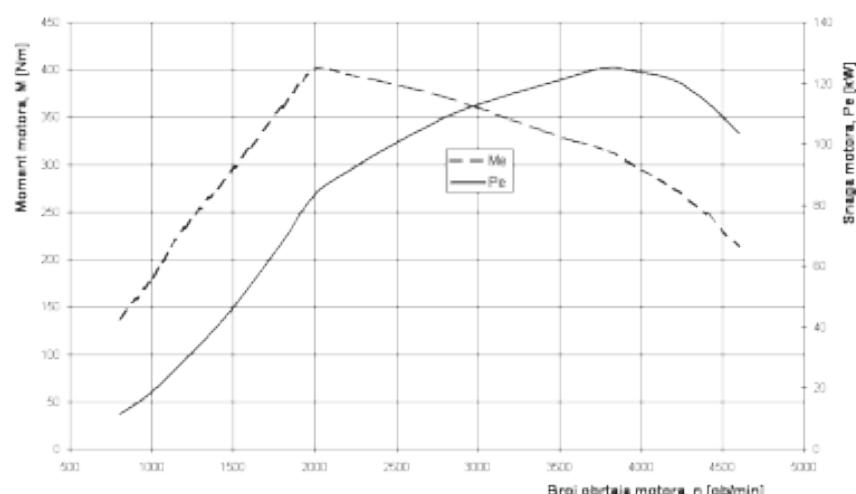


**Slika 1.** Režim promjene stepena prenosa

Kao primjer, analiziraćemo karakteristiku ubrzavanja odabranog putničkog vozila MERCEDES BENZ, tip E 220 CDI, sljedećih karakteristika:

- pogonski motor: dizel sa turbopunjnjem,
- oznaka motora: OM 646.821 DE22LA,
- dijapazon stabilnog rada 800÷4600 o/min,
- maksimalni moment: 400 Nm pri 2000 o/min,
- maksimalna snaga: 125 kW pri 3800 o/min,
- promjena stepena prenosa: manuelna,
- broj stepena prenosa: 6,
- prenosni odnosi: 5.014, 2.831, 1.789, 1.256, 1, 0.828,
- prenosni odnos u glavnom prenosniku: 2.65,
- maksimalna brzina: 227 km/h,
- pogonska osovina: zadnja,
- masa praznog vozila: 1540 kg,
- pneumatici: 205/60 R16,
- vrijeme ubrzavanja do 100 km/h: 8.4 s.

Na dijagramu prikazanom na slici 2 data je spoljna karakteristika snage i momenta pogonskog motora navedenog vozila.



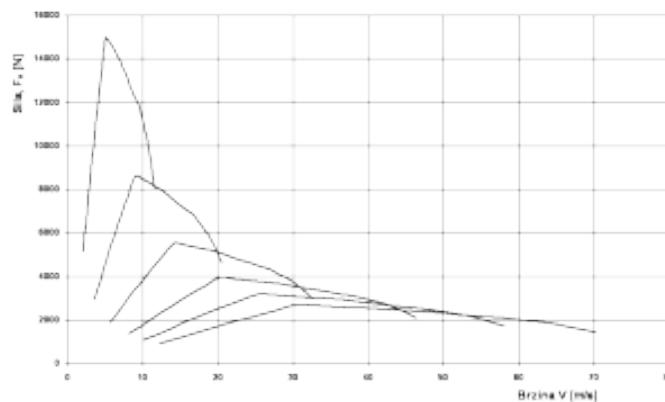
Slika 2. Karakteristika snage i momenta motora

Kako se prilikom ove analize ograničavamo na određivanje maksimalno mogućih vrijednosti ubrzanja, u radu je data analiza procesa ubrzavanja vozila iz stanja mirovanja u kojoj je praćena ostvarena karakteristika vremena potrebnog za postizanje određenih vrijednosti brzina.

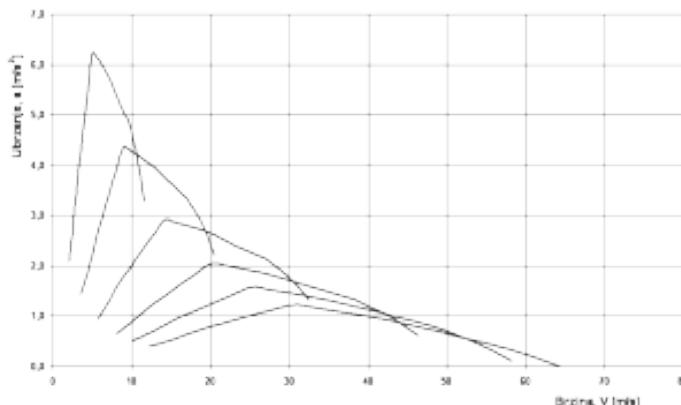
Za analizu, pored već navedenih karakteristika, uz dimenzione karakteristike analiziranog vozila, korišćeni su sljedeći podaci:

- visina težišta: 0.65 m,
- koeficijent korisnosti transmisije: 0.90,
- dinamički poluprečnik točka: 0.32 m.

Imajući u vidu konfiguraciju i karakteristike sistema predmetnog vozila dobijena je teorijska vučno-brzinska karakteristika i ona je prikazana na slici 3 u vidu promjene vučne sile u pojedinih stepenima prenosa, pri čemu su teorijske vrijednosti ubrzanja prikazane na dijagramu na slici 4.



Slika 3. Promjena teorijskih vrijednosti vučnih sila u pojedinim stepenima prenosa



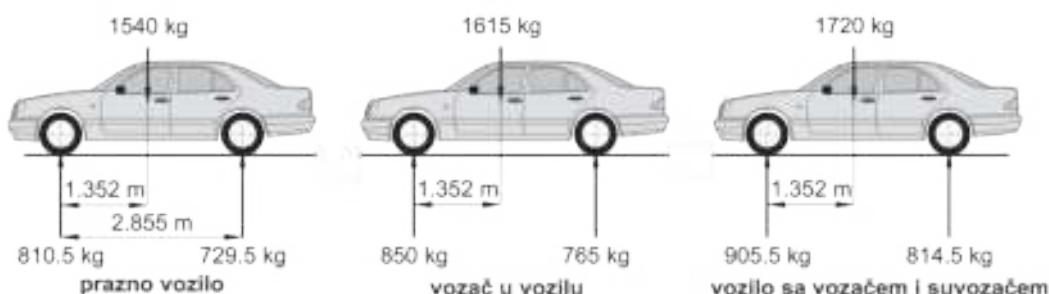
Slika 4. Promjena teorijskih vrijednosti ubrzanja u pojedinim stepenima prenosa

Za dobijanje realne karakteristike raspoložive pogonske sile na točku i ubrzanja potrebno je izvršiti analizu raspodjele mase na pojedine osovine vozila, odnosno potrebno je pratiti maksimalnu vrijednost sile koja se može prenijeti na podlogu.

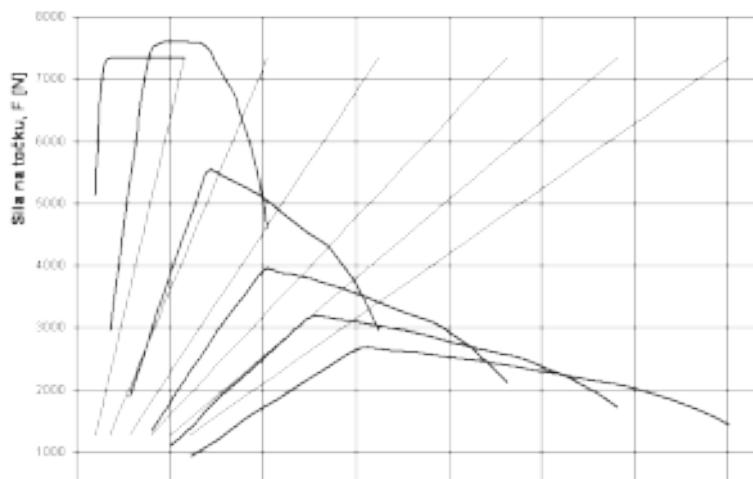
Karakteristika raspodjele mase vozila na pojedine osovine prikazana je šemom datom na slici 5, a dobijena je na osnovu karakteristike vozila prema kojoj se:

- masa praznog vozila od 1540 kg raspodjeljuje u iznosu 810.5 kg na prednju i 729.5 kg na zadnju osovinu,
- masa vozila sa vozačem od 1615 kg raspodjeljuje u iznosu 850 kg na prednju, a 765 kg na zadnju osovinu,
- pri eksperimentalnom ispitivanju karakteristika vozilo ispituje sa opterećenjem od 180 kg, na prednjim sjedištima, odnosno ukupna masa vozila od 1720 kg približno raspodjeljuje na način što prednja osovina prenosi 905.5 kg, a zadnja 814.5 kg.

Imajući u vidu uticaj ubrzanja na povećanje opterećenja zadnje osovine, koja je kod ovog vozila pogonska, pri proračunu ubrzanja vozila moramo uzeti u obzir i nešto veću vrijednost maksimalne pogonske sile koja se može prenijeti u kontaktu sa podlogom.

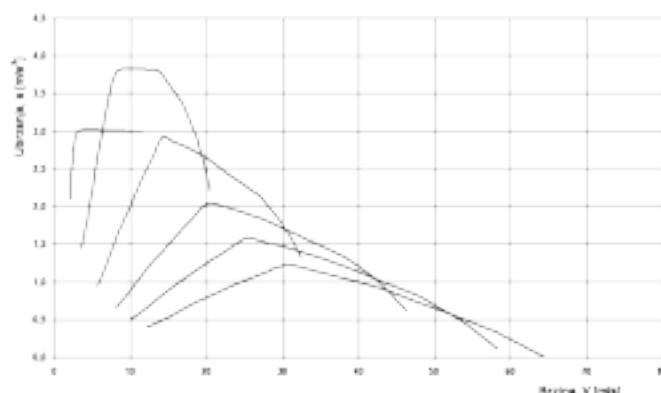


Slika 5. Raspodjela mase vozila



**Slika 6.** Dijagram raspoložive pogonske sile na točku i broja obrtaja motora

Uzimajući u obzir maksimalnu pogonsku силу, uz pretpostavku da u toku procesa ubrzavanja imamo na raspolaganju maksimalnu vrijednost te силе, na dijagramu prikazanom na slici 6 prikazana je karakteristika raspoložive pogonske sile na točku u pojedinim stepenima prenosa, dok su vrijednosti ubrzanja u pojedinim stepenima prenosa prikazani na dijagramu datom na slici 7.



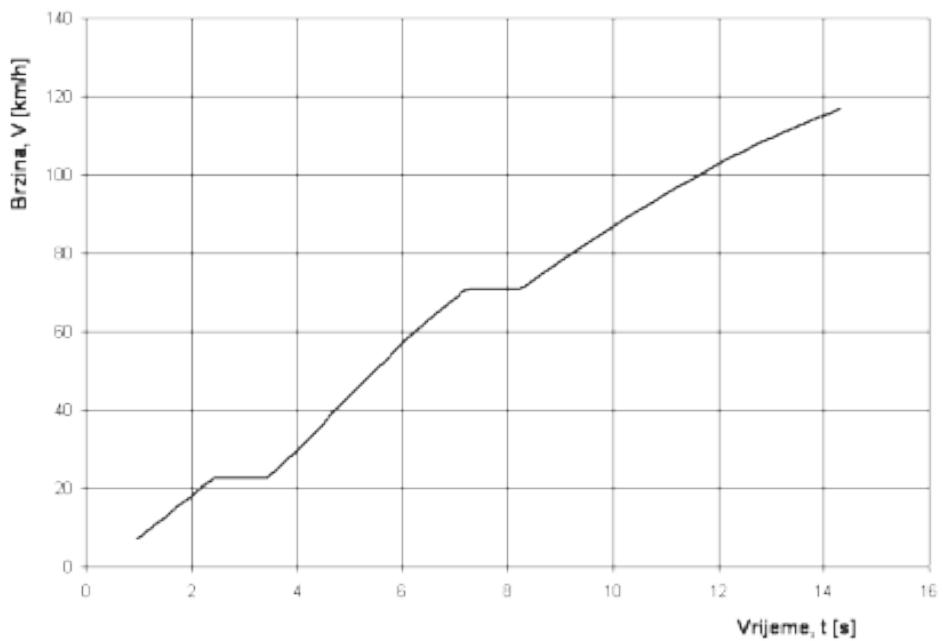
**Slika 7.** Dijagram realnih vrijednosti ubrzanja

Za dobijanje karakteristika vremena i puta ubrzavanja potrebno je uzeti u obzir i vrijeme potrebno za promjenu stepena prenosa. Orientacione vrijednosti ovog vremena date su u Tabeli 4, a za analizu je usvojeno da je ovo vrijeme konstantno i iznosi 1.0 s.

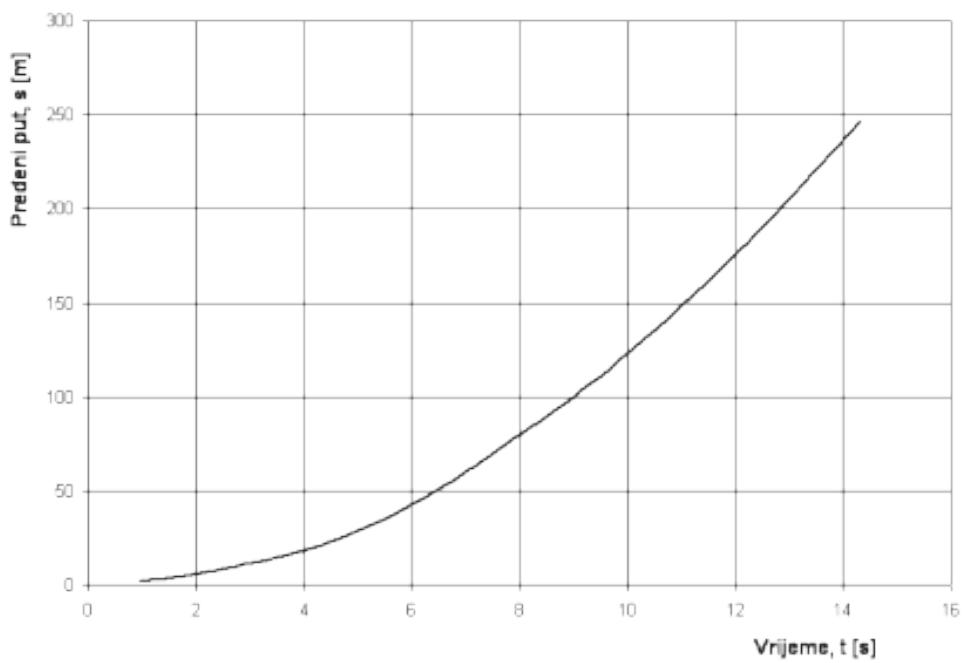
**Tabela 4** Vrijeme trajanja promjene stepena prenosa

| Vrsta mjenjača     | Vrijeme [s] potrebno za promjenu stepena prenosa |                         |
|--------------------|--|-------------------------|
|                    | Vozilo sa benzinskim motorom                     | Vozilo sa dizel motorom |
| Bez sinhronizacije | 1.3÷1.5  | 4.5                     |
| Sa sinhronizacijom | 0.2÷0.5  | 1.0÷1.5                 |
| Poluautomatski     | 0.05÷0.1   | 0.5÷0.8                 |

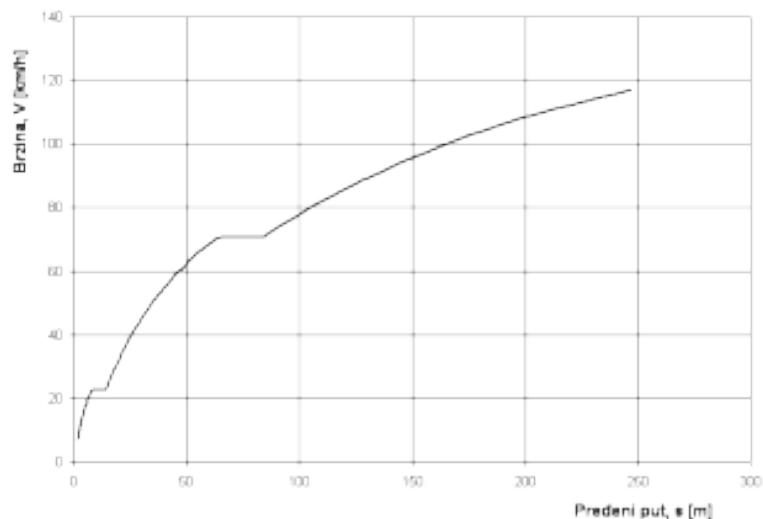
Na osnovu prethodno navedenog dobijene su karakteristike brzine, puta i vremena ubrzanja analiziranog vozila i one su prikazane na dijogramima datim na slikama 8, 9 i 10.



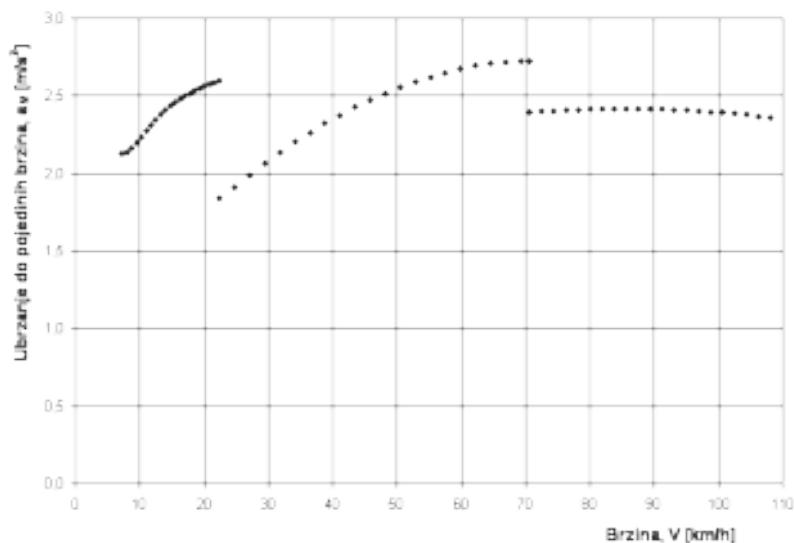
Slika 8. Promjena brzine u funkciji vremena



Slika 9. Pređeni put u funkciji vremena

**Slika 10.** Promjena brzine u funkciji pređenog puta

Analizom prikazanih rezultata dobijene su vrijednosti ubrzanja analiziranog vozila do postizanja određenih vrijednosti brzina kretanja do 100 km/h i one su prikazane na dijagramu datom na slici 11 i vrijednostima navedenim u Tabeli 5.

**Slika 11.** Vrijednosti ubrzanja do postizanja određenih brzina kretanja**Tabela 5.** Ubrzanja analiziranog vozila

| Do brzine od [km/h] | Ubrzanje [m/s <sup>2</sup> ] |
|---------------------|------------------------------|
| 10                  | 2.22                         |
| 20                  | 2.58                         |
| 30*                 | 2.08*                        |
| 40                  | 2.34                         |
| 50                  | 2.53                         |
| 60                  | 2.67                         |
| 70                  | 2.72                         |
| 80*                 | 2.41*                        |
| 90                  | 2.38                         |
| 100                 | 2.39                         |

## 4. DISKUSIJA

Analizom rezultata moglo bi se u prvi mah zaključiti da uticaj ostvarenih vrijednosti ubrzanja nije toliko veliki. Ipak, imajući u vidu da u određenim slučajevima i metar udaljenosti ili dio sekunde vremenski može prouzrokovati potpuno suprotan zaključak, razlike u ostvarenom ubrzaju se, ma koliko one bile male, ne smiju zanemariti.

Ovdje je ponovo potrebno istaći da rezultat koji se dobija na ovakav način predstavlja maksimalno moguće vrijednosti ubrzanja, a ostvarena vrijednost će zavisiti od strategije promjene stepena prenosa i režima ubrzavanja kao subjektivnog faktora koji se ne može opisati za svaki pojedinačni slučaj.

Na osnovu prethodno navedenog jasno je da se u procesu analize mora voditi računa o činjenicama da se u procesu ubrzavanja vozila do određenih vrijednosti parcijalnih brzina kretanja ostvaruju vrijednosti ubrzanja čije se vrijednosti nalaze u širem dijapazonu promjene i da je u analizu potrebno uključiti veći broj uticajnih faktora i karakteristika pojedinačnog vozila.

Navedeni zaključci važe i za računarsku analizu, odnosno pri korišćenju softverskih alata koji služe za analizu saobraćajnih nezgoda, odnosno analize dinamike vozila. Tako se npr. u slučaju korišćenja softvera PC-Crash, između ostalog, pri analizi mora voditi računa o karakteristikama vozila, koje se moraju prilagoditi stvarnim vrijednostima, npr. položaj težišta, opterećenja i sl., karakteristici motora, koja se u slučaju potrebe mora prilagoditi njegovoj stvarnoj karakteristici, režimu promjene stepena prenosa i slično.

## 5. ZAKLJUČAK

Sadržaj rada ukazuje na činjenicu da je u postupku analize dinamike vozila potrebno obratiti posebnu pažnju na određene uticaje, jer će svaki zaključak o vrijednosti određenog parametra do koga dođemo u toku analize, npr. mogućoj brzini kretanja, u određenoj mjeri uticati na konačnu odluku Suda.

S tim u vezi, analiza koja uzima u obzir uticaje na koje ukazujemo u ovom radu omogućava dobijanje vjerodostojnih podataka, čime će i zaključci donešeni na osnovu njih takođe biti validni.

Analizom rezultata prikazanih u ovom radu zaključujemo da je za vršenje detaljne analize procesa ubrzavanja vozila potrebno raspolažati i/ili utvrditi što veći broj vrijednosti pojedinih karakteristika analiziranih vozila i zatim ih, relativno jednostavnim postupkom, obraditi i dobiti validan rezultat.

## 6. LITERATURA

- [1] Todorović, J. (1995). Ispitivanje motornih vozila IV izmenjeno i dopunjeno izdanje, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd.
- [2] UN ECE Regulation No. 68, Agreement concerning the adoption of uniform conditions of approval and reciprocal recognition of approval for motor vehicle equipment and parts, Uniform provisions concerning the approval of power-driven vehicles with regard to the measurement of the maximum speed, Geneva.
- [3] Roes, R. P., Prassas, E. S., M°Shane, W. R. (2004). Traffic engineering-Third edition, Pearson Education Inc., USA.
- [4] Janković, D., Todorović, J., Ivanović, G., Rakićević, B. (2001). Teorija kretanja motornih vozila, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [5] Kostić, S. (2009). Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.