

Analiza ovisnosti ubrzanja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste

Radić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:464900>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

Repository / Repozitorij:



[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Radić

Split, 2021.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Tomislav Radić

**Analiza ovisnosti ubrzanja vozila o geometrijskim
karakteristikama trase ceste**

Diplomski rad

Split, 2021.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Draženu Cvitaniću i komentorici dr.sc. Biljani Maljković na uloženom trudu, brojnim savjetima i iznimnoj suradnji prilikom izrade diplomskog rada. Hvala mojoj obitelji na motivaciji, razumijevanju i neizmjerne podršci tijekom cijelog studiranja. Hvala svim mojim prijateljima na svim nezaboravnim trenucima zajedno provedenim za vrijeme studiranja.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT: **Tomislav Radić**
MATIČNI BROJ: **0083219382 (810)**
KATEDRA: **Katedra za prometnice**
PREDMET: **Ceste**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Analiza ovisnosti ubrzanja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste

Opis zadatka:

Zadatak

Zadatak je analizirati fenomen ubrzanja između horizontalne krivine i pravca. Na temelju podataka o geometrijskim karakteristikama trase, za dionicu državne ceste DC1 od Hrvaca do Vrlike, te podataka o stvarnom ponašanju vozača, zabilježenih kontinuiranom metodologijom uz primjenu visokofrekventnog GPS uređaja (10 Hz), potrebno je istražiti ovisnost ubrzanja o geometrijskim karakteristikama trase. Podaci o stvarnom ponašanju vozača dobiveni su iz izvršenih testnih vožnji reprezentativnog uzorka vozača (20), a sastoje se od ostvarenih brzina i polumjera putanje vozila. Za potrebe izrade diplomskog rada potrebno je pročitati i iznijeti sažeti prikaz relevantnih znanstvenih članaka.

Analizirati vrijednost ubrzanja na potezu između lokacije najmanje ostvarene brzine u kružnoj krivini do najveće ostvarene brzine na pravcu. Analizu izvršiti za 85% vrijednosti ubrzanja, za 50% (prosječne) vrijednosti ubrzanja te za 85% vozača. Podatke obraditi i prikazati u programu za statističku analizu (npr. JASP) te komentirati dobivene rezultate.

U Splitu, ožujak 2021.

Voditelj Diplomskog rada:

Prof.dr.sc. Dražen Cvitanić

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Doc.dr.sc. Ivo Andrić

Komentorica: Dr.sc. Biljana Maljković

Analiza ovisnosti ubrzanja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste

Sažetak:

Sve većim brojem prometnih nesreća te razvojem nove tehnologije u svijetu se vrše različita istraživanja i analize u svrhu povećanja sigurnosti prometa na cestama. U ovom radu prikazani su dosadašnji modeli analize ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac, na temelju kojih je provedeno istraživanje prikazano u radu. Statističkom obradom kontinuirano snimljenih brzina reprezentativnog uzorka vozača, izrađeni su regresijski modeli ubrzanja vozila te su doneseni zaključci o utjecaju pojedinih geometrijskih karakteristika trase ceste na intenzitet ubrzanja vozila.

Ključne riječi:

konzistencija, operativna brzina, kontinuirani podaci o brzinama, horizontalna krivina, pravac, ubrzanje, regresijska analiza

Dependence of vehicle acceleration on the geometric road route characteristics analysis

Abstract:

With raising numbers of traffic accidents and with the development of new technologies in the world there have been a various research and analysis aiming to increase traffic safety. This paper presents models of vehicle acceleration analysis at the transition from horizontal curvature to tangent section used so far, which were the base of conducted research. By statistical processing of continuously recorded speeds of a representative sample of drivers, regression models of vehicle acceleration were made and conclusions were made on the influence of certain geometrical characteristics of the road route on the intensity of vehicle acceleration.

Keywords:

consistency, operating speed, continuous speed data, horizontal curve, tangent, acceleration, regression analysis

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	3
3. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA	6
3.1. Pregled prethodnih modela.....	8
4. METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA PODATAKA.....	9
4.1. Upotrijebljena oprema za prikupljanje podataka.....	9
4.2. Obilježja dionice	13
5. ANALIZA UBRZANJA VOZILA.....	16
6. ANALIZA UTJECAJA GEOMETRIJSKIH KARAKTERISTIKA TRASE NA INTENZITET UBRZANJA.....	20
6.1. Višestruka linearna regresija	20
6.2. Analiza ovisnosti intenziteta 85% ubrzanja o geometrijskim karakteristikama trase ...	25
6.3. Analiza ovisnosti intenziteta 50% ubrzanja o geometrijskim karakteristikama trase ...	33
6.4. Analiza ovisnosti intenziteta ubrzanja 85- postotnog vozača o geometrijskim karakteristikama trase	41
7. ZAKLJUČAK	48
LITERATURA.....	50
PRILOZI	52

1. UVOD

Dosadašnja istraživanja pokazuju kako se veliki broj prometnih nesreća događa u horizontalnim krivinama. Stoga, prilikom projektiranja ceste treba imati na umu faktor sigurnosti prometa koji se često zanemari. Razlog tome je što se projektiranje elemenata trase ceste zasniva na projektnoj brzini koja se određuje s obzirom na kategoriju ceste i konfiguraciju terena. Na taj način projektna brzina služi za određivanje dopuštenih, odnosno minimalnih vrijednosti elemenata trase, pri čemu se posebno ističe određivanje minimalnog polumjera horizontalne krivine. Međutim, u praksi se najčešće primjenjuju vrijednosti polumjera horizontalne krivine znatno veće od minimalnih. Prilikom odabira elemenata horizontalnog toka trase treba voditi računa o konzistenciji u pogledu održanja željene brzine vožnje. Na temelju dosadašnjih istraživanja ustanovljeno je da broj nesreća raste sa smanjenjem polumjera krivine, a opada kada se učestalost krivina malih polumjera po duljini trase povećava. Iz navedenog je jasno da postoji veza između sigurnosti prometa i konzistencije projektiranih elemenata ceste. Konzistencijom se osigurava da sukcesivni elementi ceste omogućavaju ujednačeno ponašanje vozača u skladu s njegovim očekivanjima.

Mnogi autori vršili su istraživanja i analizirali prikupljene podatke na različite načine kako bi došli do zaključaka što ima najveći utjecaj na održavanje željene brzine vožnje. Svakako, jasno je kako stvarna brzina vozača ne odgovara projektom predviđenoj brzini. Najčešće upotrebljavani kriteriji za provjeru konzistencije zasnivaju se na izradi profila operative brzine. Operativna brzina definira se kao 85% vrijednost raspodjele brzina slobodnog toka na određenom elementu ceste koju je moguće odrediti iz podataka o stvarnim brzinama reprezentativnog uzorka vozača. Kao takva, operativna brzina se danas sve više u svijetu prihvaća kao brzina na osnovu koje se projektiraju elementi trase ceste. Iako, smjernice europskih zemalja najčešće za projektiranje elemenata trase koriste računsku brzinu koja se određuje prema izrazu poprečne stabilnosti vozila u zavoju za stvarne vrijednosti polumjera i poprečnog nagiba. Stoga je jasno kako su pravilnici i smjernice koje se danas koriste za projektiranje elemenata trase ceste prilično nedorečeni, ali sve češćim i jasnijim istraživanjima ovisnosti ponašanja vozača o karakteristikama trase ceste svakako postoji nada za unapređivanjem pravilnika. Uvodeći nove vrijednosti za projektiranje elemenata trase ceste, osim na sigurnost prometa, utječe se i na ekonomičniji i udobniji promet.

U ovom radu izvršen je pregled dosadašnjih istraživanja analize ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac, na temelju čega su obrazloženi osnovni principi fenomena promjene brzine između susjednih elemenata trase. Na temelju prethodnih istraživanja, izvršena je analiza 85% ubrzanja te 50% ubrzanja, kao i analiza ubrzanja 85- postotnog vozača za promatranu dionicu, pri čemu se analiza izvršila samo za odabrane segmente promatrane dionice (segmenti s pravcima dužim od 120 m). Nakon obrade podataka, istražena je ovisnost intenziteta ubrzanja o geometrijskim karakteristikama trase, kao što su duljina pristupnog pravca, polumjer krivine, duljina kružnog luka, skretni kut, polumjeri okolnih krivina, duljine okolnih pravaca, duljine okolnih prijelaznica, uzdužni nagib. Analiza je izvršena uz primjenu višestruke regresijske analize, pomoću softvera za statističku analizu JASP. Regresijska analiza provedena je za vrijednosti ubrzanja: 85% ($a_{x,85}$), 50% ($a_{x,50}$) i 85- postotnog vozača ($a_{x,v85}$). Statističkom analizom dobiveni su određeni zaključci o utjecaju pojedinih geometrijskih karakteristika trase na ubrzanje vozila, kao i zaključci o pouzdanosti dobivenih modela za predviđanje navedenih vrijednosti ubrzanja.

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj ovoga istraživanja je ispitati zavisnost ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac, ovisno o geometrijskim karakteristikama promatrane trase ceste. Također, u radu je prikazan pregled dosadašnjih istraživanja, odnosno postojećih modela za predviđanje ubrzanja na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac. Ovakvi ciljevi za rezultat nam daju da se unaprijede pravilnici što se tiče konzistentnog projekta trase, a to će rezultirati sigurnijim, udobnijim i ekonomičnijim prijevozom.

Općenito, razlog ovakvih istraživanja je zato što je utvrđeno da se veći broj prometnih nesreća događa upravo u horizontalnim krivina u odnosu na pravce. Stoga, sa stajališta sigurnosti, najveći problem pri projektiranju trase izvangradskih dvotračnih cesta jest izbor geometrijskih elemenata horizontalnih krivina. Razlog tome je upravo što se sve metodologije projektiranja toka trase zasnivaju na "konceptu projektne brzine". Hrvatske smjernice za projektiranje cesta [1] izrađene su na temelju njemačkih smjernica te definiraju sljedeće pojmove:

- Projektna brzina V_p je najveća brzina za koju je zajamčena potpuna sigurnost vožnje u slobodnom prometnom toku na cijelom potezu trase, pod optimalnim vremenskim uvjetima i kod dobrog održavanja. Ona karakterizira razinu građevinsko-prometnih svojstava ceste.

Projektna brzina (V_p) određuje granične vrijednosti tlocrtnih i visinskih elemenata trase, a to su: minimalni polumjer horizontalne krivine, maksimalni uzdužni nagib, poprečni presjek. U pravilu se za cijeli potez trase određuje ista vrijednost projektne brzine. Ukoliko se, npr. zbog bitnih razlika u konfiguraciji terena, jedinstvena vrijednost V_p ne smatra optimalnom, veličine V_p treba promijeniti na mjestu gdje se očekuje i značajna promjena u načinu vođenja linije koju treba provesti postupno na dovoljno dugačkom dijelu trase. Projektna brzina određuje se projektним zadatkom na temelju zadaće ceste u cestovnoj mreži, odnosno kategorije ceste, konfiguracije terena odnosno prostornih ograničenja, te najveće zakonom dozvoljene brzine.

- Računska brzina V_r je najveća očekivana brzina koju vozilo u slobodnom prometnom toku može ostvariti uz dovoljnu sigurnost vožnje na određenom dijelu ceste, u skladu s prihvaćenim modelom njezinog ustanovljavanja, zavisno o tlocrtnim i visinskim elementima tog dijela trase.

Računska brzina (V_r) je voznodinamička veličina na temelju koje se određuju pojedini geometrijski elementi trase: poprečni nagib kolnika u zavojima, potrebne duljine preglednosti,

polumjeri vertikalnih krivina, najmanji polumjer horizontalne krivine sa suprotnim poprečnim nagibom kolnika. Računska brzina V_r određuje se na temelju projektiranih tlocrtnih i visinskih elemenata trase: najmanjeg primijenjenog polumjera horizontalnih krivina i najvećeg primijenjenog uzdužnog nagiba.

Mjerodavna računsa brzina V_r za određeno mjesto trase jednaka je vrijednosti manje od dviju ovako određenih veličina. Tako određena računsa brzina ne smije preći najveću zakonom dozvoljenu brzinu za utvrđenu kategoriju ceste.

Računska brzina (V_r) ne može biti manja od projektne brzine (V_p), a najveća vrijednost V_r ne smije biti veća od najveće zakonom dopuštene brzine vožnje za određenu kategoriju ceste. Načinom vođenja linije i odabirom pojedinih elemenata treba težiti da računsa brzina ima ujednačene vrijednosti na što duljim dionicama trase, ne kraćim od:

- 10 km na autocestama i cestama 1. kategorije,
- 5 km na cestama 2.-5. kategorije.

Razlika između najmanje i najveće vrijednosti računsa brzine V_r unutar iste dionice ne smije biti veća od 15 km/h. Također, razlika računsa brzine (V_r) i projektne brzine (V_p) ne smije biti veća od 20 km/h. Ako je razlika $V_r - V_p > 20$ km/h potrebno je provjeriti opravdanost usvojene vrijednosti projektne brzine (V_p) i istu povećati ili računsku brzinu (V_r) korekcijom trase smanjiti, kako bi razlika bila u granicama.

Projektna i računsa brzina temeljne su postavke vođenja linije odnosno oblikovanja ceste, uz uvažavanje prometnog značaja, propusne moći, sigurnosti i ekonomičnosti.

Najmanji polumjer kružnog luka R_{min} [m] za projektnu brzinu V_p [km/h] ovisi o dopuštenim veličinama radijalnog koeficijenta otpora klizanja f_{Rdop} i od najvećeg dopuštenog poprečnog nagiba kolnika u kružnom luku q_{max} [%]. Najmanji polumjer R_{min} [m] primjenjuje se iznimno ako to zahtijeva vrsta terena, odnosno prostorno ograničenje. Najmanji polumjer određen je izrazom [1]:

$$R_{min} = \frac{V_p^2}{127(f_{Rdop} + q_{max})} \quad (1)$$

Projektiranje trase ceste zasniva se upravo na projektnoj brzini, što se pokazalo kao nedostatak što se tiče varijabilnosti brzina i određivanja poprečnog nagiba u horizontalnim krivinama. Stoga, posljednjih godina dosta se radi na novijim istraživanjima koja uključuju odnose stvarnih brzina vozača i projektom predviđene brzine. Kod smjernica raznih zemalja postoje značajne razlike u odabiru mjerodavne brzine za projektiranje. Izbor nerealno malih vrijednosti mjerodavnih brzina rezultira primjenom premalih poprečnih nagiba u krivinama što dovodi do toga da vozilo koristi više otpora trenja da zadrži kružno gibanje, nego što vozač očekuje. To može dovesti do nesigurnosti vozača te kočenja čime se aktivira komponenta trenja u uzdužnom smjeru što smanjuje raspoloživi radijalni otpor trenja i povećava mogućnost izlijetanja iz krivine. Stoga dobar projekt ceste, pored konzistentnosti elemenata trase, mora uskladiti vrijednosti poprečnih nagiba i radijalnog otpora trenja sa stvarnim brzinama. Cilj ovakvih istraživanja je uključivanje ponašanje vozača u postupku projektiranja ceste, najčešće kroz primjenu operativne brzine i kriterija konzistencije zasnovanih na operativnoj brzini.

3. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Razni autori radili su istraživanja analize ubrzanja i usporenja vozila ovisno o raznim geometrijskim karakteristikama trase, najčešće uz primjenu regresijske analize. U većini provedenih istraživanja, najčešće razmatrane nezavisne varijable su radijus horizontalne krivine, uzdužni nagib te duljine susjednih pravaca. Razlog promatranja ovih parametara je upravo taj što je dokazano da navedene varijable imaju najveći utjecaj na brzine vozila u horizontalnim krivinama, kao i utjecaj na ubrzanje i usporenje vozila.

Općenito, fenomen promjene brzine između susjednih elemenata trase je manje istraživan u svijetu, za razliku od operativne brzine. Prvi istraživači su imali značajno lošiju opremu za snimanje potrebnih podataka (u odnosu na današnju opremu), stoga je to najveći razlog manjeg broja istraživanja fenomena promjene brzine između susjednih elemenata trase. U početku, istraživači detaljno proučavaju analize brzine vožnje zavisno o geometrijskim karakteristikama trase, a zatim naknadno, utvrđeno je kako postoji i zavisnost ubrzanja/usporenja vozila ovisno o geometrijskim karakteristikama trase ceste. U početku, uređaj za prikupljanje podataka koji se koristio za bilježenje brzine vozila u većini je slučajeva bio ručni radarski pištolj ili slično. Korištenje radarskih pištolja ima tri važna problema: ljudsku pogrešku, kosinusnu pogrešku i učinak na ponašanje vozača. Prikupljanje podataka na ovakav način nije pogodno iz razloga što su prikupljeni podaci točkasti i, možemo reći, ne opisuju dovoljno dobro ponašanje vozača na promatranim dionicama. Primjenom tih metoda podaci o brzini snimani su samo na jednom mjestu, najčešće na sredini horizontalne krivine te se primjenjivala pretpostavka o konstantnoj brzini u krivini. Na samom početku istraživanja, ovakav tip podataka je bio sasvim dovoljan za razvoj prvih modela i dokaz utjecaja geometrijskim karakteristikama trase ceste na brzine i ubrzanja vozila. Ostale metode prikupljanja podataka o brzini su senzori kolnika. Međutim, oni zahtijevaju od istraživača da nosi više opreme i zahtijevaju više vremena za instalaciju i uklanjanje opreme. Ova metoda može utjecati i na ponašanje vozača.

Uočeno je kako je najvažnije ograničenje modela baziranih na točkastim podacima što se podaci ne prikupljaju na početnim i na završnim točkama usporenja/ubrzanja, pa to rezultira profilom brzine koji ne predstavlja stvarno ponašanje vozača. Osim toga, nije moguće odrediti duljinu usporenja i ubrzanja pa se stvarne veličine ubrzanja i usporenja ne mogu točno odrediti.

Zbog navedenih nedostataka točkastog mjerenja brzina, te s razvojem tehnologije, u ovakvim istraživanjima sve se više primjenjuje metodologija kontinuiranog snimanja podataka. Glavna prednost ovakvih metoda snimanja podataka jest ogromna količina podataka o kontinuiranoj brzini prikupljenih bez značajnog utjecaja na vozače. Ovom novom metodologijom istraživačima se omogućuje da razviju realnije modele operativne brzine na krivinama i pravcima te da procijene razliku brzine na prijelazu pravac-horizontalna krivina, razvijajući i modele usporenja i ubrzanja.

Novija istraživanja bazirana su na prikupljanju kontinuiranih podataka. Kako bi se izbjegli navedeni nedostaci u prikupljanju podataka, postoje razne metode koje se temelje na kontinuiranom praćenju brzine, kao što su posebna ispitna vozila ili različite metode koje se temelje na digitalnom bilježenju i obradi videozapisa. Svaki od njih osmišljen je u različitim situacijama, tj. digitalna video obrada pogodna je samo za lokalne studije za kreće dionice.

Novijim istraživanjima proučava se ponašanje vozača iz podataka o brzinama prikupljenih instrumentalnim vozilom.

3.1. Pregled prethodnih modela

Pregledom literature uočen je veliki broj istraživanja u kojima su razvijani modeli za predviđanje operativne brzine u krivinama i na pravcima i nekoliko istraživanja s modelima ubrzanja i usporenja. Svi modeli ovisni su o geometrijskim karakteristikama promatrane dionice. Pregledom dosadašnjih modela možemo utvrditi kako novijim proučavanjima ovakvih fenomena dolazi se do sve boljih rezultata. U *Tablici 1.* prikazan je pregled modela ubrzanja prethodnih istraživanja.

Tablica 1. Pregled modela ubrzanja prethodnih istraživanja

Zemlja, autor i godina	Ubrzanja
ITALIJA	
Crisman (2005.) [2]	0.54 m/s^2 za $R < 178 \text{ m}$ 0.43 m/s^2 za $178 \text{ m} < R < 437 \text{ m}$ 0.20 m/s^2 za $437 \text{ m} < R < 2187 \text{ m}$
Marchionna i Perco (2008.) [3]	$a = 1.328 - 0.159 \cdot \ln(R)$ $R^2 = 0.45$
KANADA	
Said (2009.) [4]	$a_{85} = 0.275 + 44.563/R + 0.046 \cdot I_{TF}$ $\overline{R^2} = 0.83$
SAD	
Lamm (1988.) [5]	0.85 m/s^2
Collins i Krammes (1996.) [6]	Ubrzanja: od 0.12 do 0.52 m/s^2
Fitzpatrick (2000.) [7]	Ubrzanja: 0.54 m/s^2 za $175 \text{ m} < R < 250 \text{ m}$ 0.43 m/s^2 za $250 \text{ m} < R < 436 \text{ m}$ 0.21 m/s^2 za $436 \text{ m} < R < 875 \text{ m}$ 0 m/s^2 za $R > 875 \text{ m}$
Gdje je: a = ubrzanje (m/s^2) a_{85} = 85 postotno ubrzanje (m/s^2) I_{TF} = tzv. "dummy" varijabla ($I_{TF} = 1$ ako nakon krivine slijedi dugi nezavisni pravac, $I_{TF} = 0$ ako nakon krivine slijedi kratki zavisni pravac)	

Pregledom prethodnih modela ubrzanja uočava se ovisnost ubrzanja uglavnom o dvije geometrijske karakteristike trase, a to su radijus promatrane horizontalne krivine te duljina okolnih pravaca. Vidljiv je i porast vrijednosti procjene pokazatelja reprezentativnosti modela (koeficijent determinacije i korigirani koeficijent determinacije) što upućuje na činjenicu kako novijim istraživanjima raste i pouzdanost primjene dobivenih modela. Također, u nekim istraživanjima vršene su pojedinačne analize za različite raspone polumjera ili duljina pravaca (za oštrije i blaže krivine te za kraće i dulje pravce). Može se primijetiti kako intenzitet ubrzanja opada s porastom radijusa horizontalne krivine.

4. METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA PODATAKA

Osnovni cilj ovoga istraživanja je poboljšanje sigurnosti u horizontalnim krivinama vangradskih cesta u smislu uočavanja lokacija na kojima nije osigurana konzistencija trase. Stoga je u nastavku detaljno opisana metodologija istraživanja koja je primijenjena kako bi se ostvario navedeni cilj.

Kako bi se prikupili podaci o stvarnom ponašanju vozača, u ovome radu korišteni su podaci prikupljeni istraživanjem u sklopu disertacije Maljković [17] na dionici državne ceste DC1 na području Splitsko-dalmatinske županije u Republici Hrvatskoj. "Radi se o dvotračnoj vangradskoj cesti s relativno malim prometnim opterećenjem. Prosječni godišnji dnevni promet 2012. godine iznosio je 1421 voz/dan prema [8] te bez priključaka važnijih cesta. Istraživanje se provodilo u periodu od listopada 2012. do travnja 2013. godine, pod optimalnim vremenskim uvjetima, što podrazumijeva dnevnu vožnju i suh kolnik kako bi se otklonio utjecaj svih čimbenika koji nisu vezani za karakteristike same ceste i okoline (namjena okolnog terena, prometni znakovi)" [17]. Dakle, ispitivanje je provedeno u uvjetima slobodnog kretanja vozila. Pored toga neophodno je promatrati veliki broj vozila i mjeriti njihove brzine kako bi se ustanovile određene zakonitosti koje vrijede za promatrane segmente dionice.

4.1. Upotrijebljena oprema za prikupljanje podataka

Da bi se proučila brzina slobodnog toka vozila u krivini bilo je nužno prikupiti podatke s terena. U provedenom istraživanju sudjelovalo je 20 vozača, od toga 13 muškaraca i 7 žena, u dobi od 25 do 60 godina, različitog vozačkog iskustva (od 2 pa do 30 godina). Svaki vozač prošao je analiziranu dionicu u oba smjera, vlastitim automobilom (osobni automobili različitih marki i starosti) opremljenim posebnim GPS uređajem PerformanceBox [9], prikazanim na *Slici 1.*, kojim se dobije precizna slika o ponašanju vozača. Istraživanje je bazirano na prikupljanju kontinuiranih podataka pomoću GPS uređaja kojim se dobije stvarna slika o ponašanju vozača na promatranim dionicama. GPS (engl. Global Positioning System) [10] je radio-navigacijski sustav koji se temelji na satelitskoj navigaciji. Prvotno je bio namijenjen za potrebe američke vojske ali se zbog svojih mogućnosti posljednjih dvadesetak godina primjenjuje i na drugim područjima. GPS se temelji na skupini satelita Ministarstva

obrane SAD-a koji stalno kruže oko Zemlje. Sateliti odašilju vrlo slabe radio signale omogućujući GPS prijammnicima prikazivanje trodimenzionalne lokacije (zemljopisna širina, dužina i visina). GPS ima raznovrsne primjene na kopnu, moru i u zraku. U osnovi, GPS omogućuje da se zabilježe položaji točaka na Zemlji i pomogne navigacija do tih točaka i od njih. GPS se može upotrebljavati svugdje osim na mjestima gdje je nemoguće primiti signal, a to su mjesta unutar zgrada, u tunelima, spiljama, garažama i drugim podzemnim lokacijama te ispod vode.

Uređaj radi na principu da u svakoj desetinki sekunde (frekvencija od 10 Hz) detektira položaj vozila iz čega se određuju veličine koje su od velikog značaja pri analizi odnosa karakteristika ceste i ponašanja vozača. PerformanceBox uređaj radi s većom frekvencijom te je samim time precizniji od GPS uređaja koji su do sada koristili prethodni autori, primjenjujući ovakvu metodologiju snimanja podataka. U prijašnjim istraživanjima korišteni su GPS uređaji frekvencije od 1 Hz, dok PerformanceBox ima mogućnost snimanja podataka u svakoj desetinki sekunde. Što znači da pri brzini od 100 km/h, GPS uređaj od 1 Hz bilježi podatke svakih 28 m, dok se kod uređaja od 10 Hz snimanje vrši svakih 2.8 m.

Specifikacije uređaja PerformanceBox prikazane su u *Tablici 2*. "Uređaj PerformanceBox koristi do 12 satelita, a pouzdanost instrumenta prilikom određivanja položaja je 5 m 95% kružnice povjerenja, odnosno u 95% slučajeva podaci će biti u krugu 5 m od točne vrijednosti" [17].

Tablica 2. Specifikacije uređaja PerformanceBox [12]

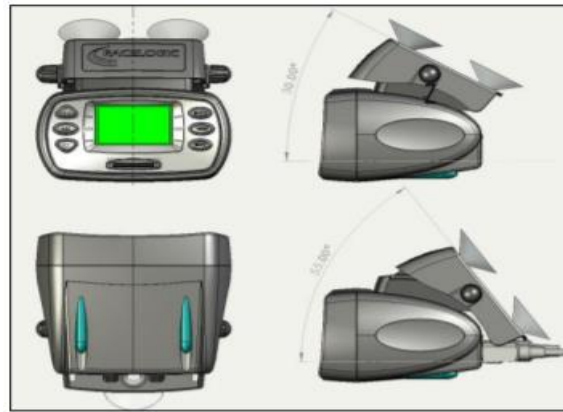
GPS Specifikacije			
Brzina		Udaljenost	
Točnost	0,2 km/h	Točnost	0,05% (<50 cm na km)
Jedinice	km/h ili milja/sat	Jedinice	metri/ stopa
Frekvencija	10 Hz	Frekvencija	10 Hz
Najveća brzina	1000 milja/sat	Rezolucija	1 cm
Najmanja brzina	0,1 km/h	Točnost za visinu	10 m 95% kružnica povjerenja*
Rezolucija	0,01 km/h		

Apsolutni položaj		Vrijeme	
Točnost	5 m 95% kružnice povjerenja*	Rezolucija	0,1 s
Frekvencija	10 Hz	Točnost	0,1 s
Rezolucija	1 cm		

Kut odklona od sjevera		Snaga	
Rezolucija	0,01°	Raspon ulaznog napona	6-28 V DC (istosmjerna struja)
Točnost	0,2°	Jakost	Tipično 100 mA

Ubrzanje		Radna i fizička obilježja uređaja	
Točnost	1%	Težina	225 grama
Najveća vrijednost	4g	Dimenzije	113 mm × 63 mm × 93 mm
Rezolucija	0,01g	Radna temperatura	od -20°C do +50°C
Frekvencija	10 Hz	Temperatura skladištenja	od -30°C do +80°C

Memorija		Objašnjenja	
Tip	SD kartica	*	Kružnica povjerenja- eng. CEP Circle of Error Probable (statistika kojom se iskazuje točnost horizontalnih koordinata točke je polumjer 95% kružnice povjerenja)
Vrijeme snimanja	Ovisno o kapacitetu kartice**	**	Približno 1.1 MB za sat vremena upotrebe



Slika 1. PerformanceBox uređaj [11]

Velika prednost uređaja PerformanceBox jest što se veoma lako ugrađuje u svako vozilo i što je praktično za uporabu.

Najbitniji podaci za ovo istraživanje uključuju brzine, promjene brzina te duljine dionica na kojima se događaju promjene brzine. Podaci snimljeni uređajem PerformanceBox očitani su pomoću odgovarajuće programske podrške VBOX Test Suite [14] (Slika 2.).



Iz zabilježenih kontinuiranih podataka profila brzina svake pojedine snimljene vožnje, očitano je sljedeće: najmanja brzina u horizontalnoj krivini, najveća brzina na pravcu te vrijeme u kojem je ostvarena ta promjena brzine.

Prilikom prikupljanja podataka, razmatrane su samo brzine slobodne vožnje, a podaci s vanjskom smetnjom isključeni su iz baze podataka. To podrazumijeva uvjete pri kojima se sva vozila na promatranoj dionici puta kreću slobodno.

Tokom prikupljanja podataka, na stražnjem sjedalu automobila sjedila je osoba koja je bilježila trenutke u kojima bi došlo do prekida uvjeta slobodne vožnje. Korišteni uređaj PerformanceBox ima opciju bilježenja bilo kakvih događanja za vrijeme snimanja vožnje, pritiskom na tipku, što je vidljivo u profilu brzina prilikom očitavanja podataka. Kako bi se smanjio broj segmenata ceste na kojima nisu bili osigurani uvjeti slobodne vožnje, kao što je utjecaj drugih vozila, promatrano vozilo bi se isključilo iz prometa dok se prometnica ne oslobodi.

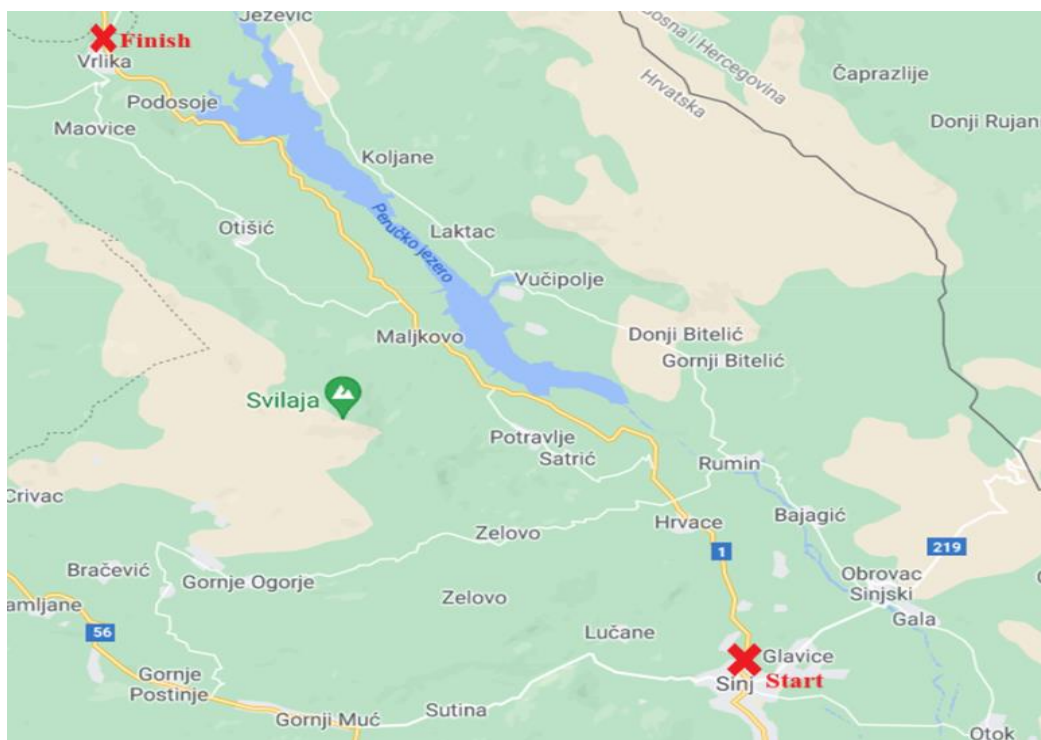
4.2. Obilježja dionice

Podaci potrebni za ovo istraživanje prikupljeni su na dionici duljine 24 km, različitih kombinacija elemenata širokog raspona vrijednosti polumjera, skretnih kutova i duljina elemenata horizontalnog toka trase. Istraživanje je provedeno na dionici državne ceste DC1 od Sinja do Vrlike (*Slika 3.*), na području Splitsko-dalmatinske županije u Republici Hrvatskoj. Promatrana dionica je jako pogodna za prikupljanje podataka potrebnih za istraživanje iz razloga što sadrži dovoljan broj horizontalnih krivina različitih polumjera zakrivljenosti, kao i pravaca različitih duljina. Analizirana dionica sastoji se od 97 horizontalnih krivina (raspona polumjera od 80 do 1010 m) i 92 pravca (duljina do 700 m). U većini slučajeva horizontalne krivine izvedene su bez prijelaznice između pravca i kružnog luka ili s kratkom prijelaznicom (uglavnom duljine 20 ili 30 m), a uzdužni nagibi su u rasponu od 0% do 6%. Geometrijske karakteristike analizirane dionice prikazane su u *Tablici 3.*

Tablica 3. Geometrijske karakteristike analizirane dionice

Element	Geometrijske karakteristike	Najmanja vrijednost	Najveća vrijednost	Srednja vrijednost	Standardna devijacija
Horizontalna krivina	Polumjer (m)	85	1010	290	227,00
	Duljina (m)	30	440	132	95,32
	Skretni kut (°)	4	118	39	28,36
	Poprečni nagib (%)	2	7	3,4	1,37
Pravac	Duljina (m)	0	683	96	101,75
Prijelaznica	Duljina (m)	0	60	32	10,54
Vertikalni tok trase	Uzdužni nagib (%)	0,5	6	0,2	2,47

Standardna devijacija, odnosno standardno odstupanje predstavlja prosječno srednje kvadratno odstupanje numeričkih vrijednosti neke veličine od njihove aritmetičke sredine. Što znači da je u ovom slučaju prosječno odstupanje polumjera horizontalne krivine od prosječne vrijednosti polumjera horizontalne krivine najveće i iznosi 227 m. Samim time možemo zaključiti kako se analizirana dionica sastoji od horizontalnih krivina polumjera velikih raspona.



Slika 3. Prikaz analizirane dionice DC1

Veličine polumjera horizontalnih krivina, poprečnih i uzdužnih nagiba te duljine pojedinih elemenata horizontalnog toka trase određene su iz glavnog projekta ceste iz 1968. [13] te geodetske snimke izvedenog stanja koju su 2006. godine izradile Hrvatske ceste d.o.o.

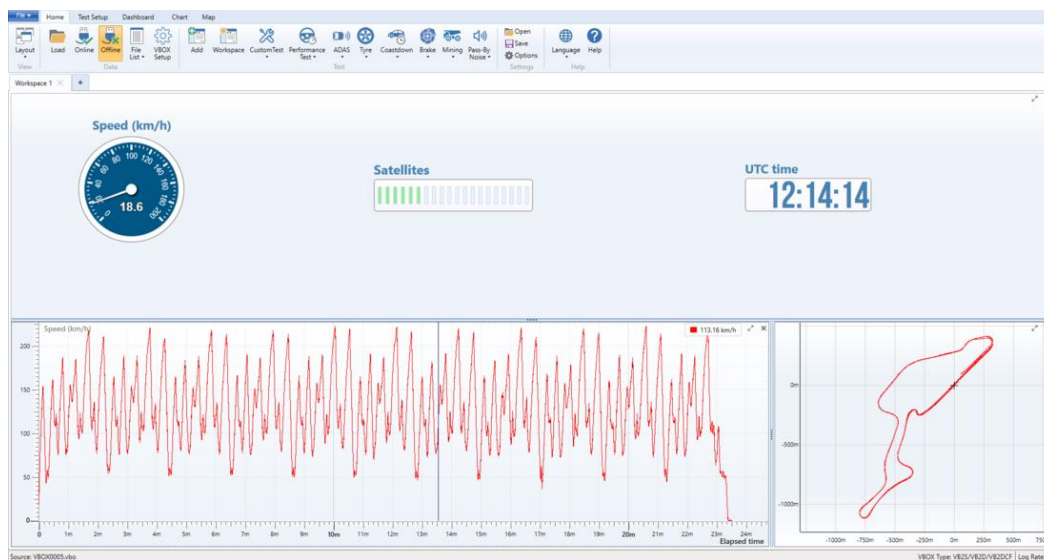
Državna cesta DC1 projektirana je prema Pravilniku za projektiranje cesta iz 1961. godine kao magistralna cesta 2. razreda, računске brzine $V_r = 60$ km/h [13]. Najmanji polumjer horizontalne krivine prema tadašnjem Pravilniku iznosio je 100 m, a upotreba prijelaznica nije bila obavezna. Analizirajući osnovna obilježja i način određivanja, može se zaključiti da računska brzina definirana Pravilnikom iz 1961. godine, odgovara sadašnjoj projektnoj brzini. U skladu s tom činjenicom te s obzirom na osnovna obilježja analizirane dionice, definirane su kategorija ceste te projektna brzina. Prema društveno-gospodarskom značenju analizirana dionica spada u državne ceste, namijenjena je prometu motornih vozila i mješovitom prometu, relativno malog prometnog opterećenja (PGDP 1421 voz/dan [8]), a ima državnu i županijsku zadaću povezivanja. Prema navedenim obilježjima, radi se o cesti 2. kategorije, a s obzirom na najveći uzdužni nagib od 6%, određena je projektna brzina $V_p = 60$ km/h.

Također, zanimljiva činjenica za analiziranu dionicu jest ta da je nakon provedenog prikupljanja podataka za svrhe istraživanja donesen plan rekonstrukcije promatrane dionice u svrhu poboljšanje sigurnosti prometa na DC1 kroz naseljena mjesta Grada Vrlike. Zaključeno je da je dionica ceste od Sinja do Vrlike kritična točka na državnoj cesti od Splita do Zagreba. U svrhu poboljšanja sigurnosti prometa pretpostavlja se postavljanje kamere za mjerenje brzine. S obzirom na ovakve činjenice, prikupljanje podataka za svrhe istraživanja pod ovakvim okolnostima zasigurno bi imalo utjecaj na vrijednosti dobivenih podataka.

5. ANALIZA UBRZANJA VOZILA

Analiza ubrzanja vozila u ovom istraživanju provodi se za segmente trase koji predstavljaju prijelaz iz horizontalne krivine na pravac za slučajeve pravaca duljih od 120 m. Analiziranjem pojedinačnih testnih vožnji ustanovljeno je da vozači ne uočavaju kraće pravce, odnosno ne uspijevaju ostvariti željenu brzinu nego je prilagođavaju zakrivljenosti nadolazeće krivine. Zbog toga su u ovom istraživanju analizirani samo segmenti s pravcima duljim od 120 m. Naime, prema hrvatskom Pravilniku [1] preporučena je najmanja duljina pravca od $2 \cdot V_p$ s ciljem osiguranja konzistencije horizontalnog toka trase. S obzirom na navedenu raspodjelu, na čitavoj dionici razmatrana su ukupno 24 segmenata u jednom smjeru, odnosno 48 segmenata ukupno, što je prikazano u *Prilogu 1*. U *Prilogu 1*. prikazani su svi elementi promatranih segmenata dionice zajedno sa svim svojim vrijednostima koje su potrebne za provedbu analize ubrzanja vozila.

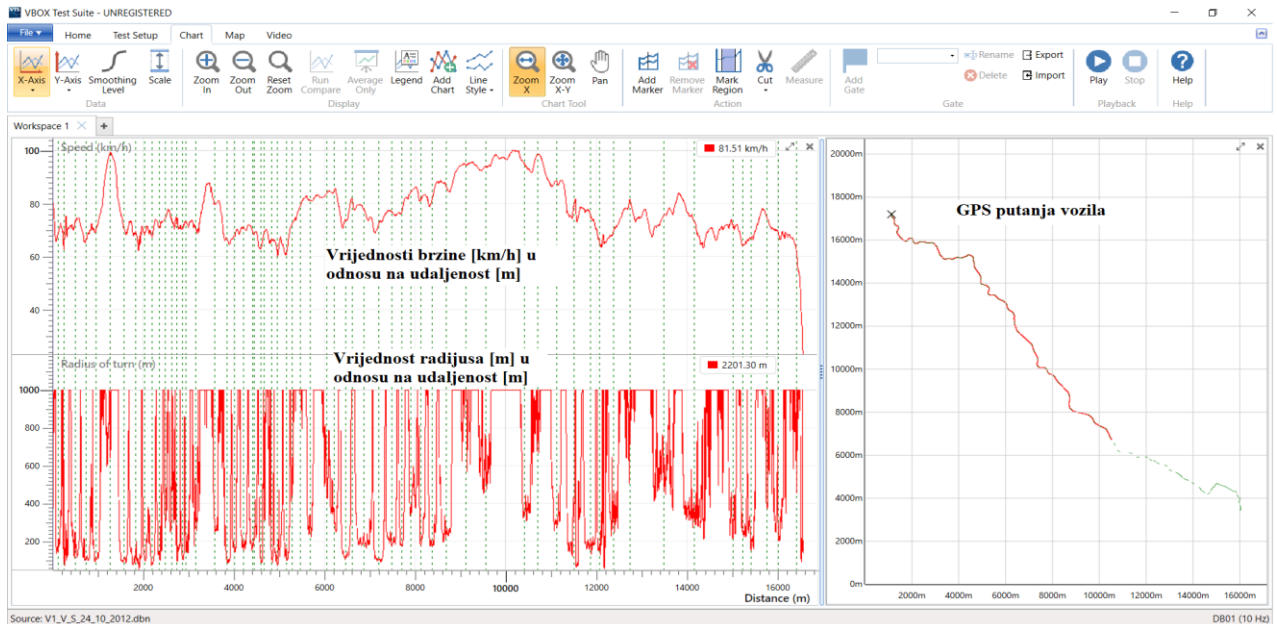
Zatim, na temelju prikupljenih podataka, pomoću softvera *VBOX Test Suite* [14] (*Slika 4.*), za odabrane segmente, iz svakog pojedinog zapisa vožnje, očitane su najmanje brzine u krivini, najveća brzina na pravcu te vrijeme proteklo između ostvarivanja očitanih brzina.



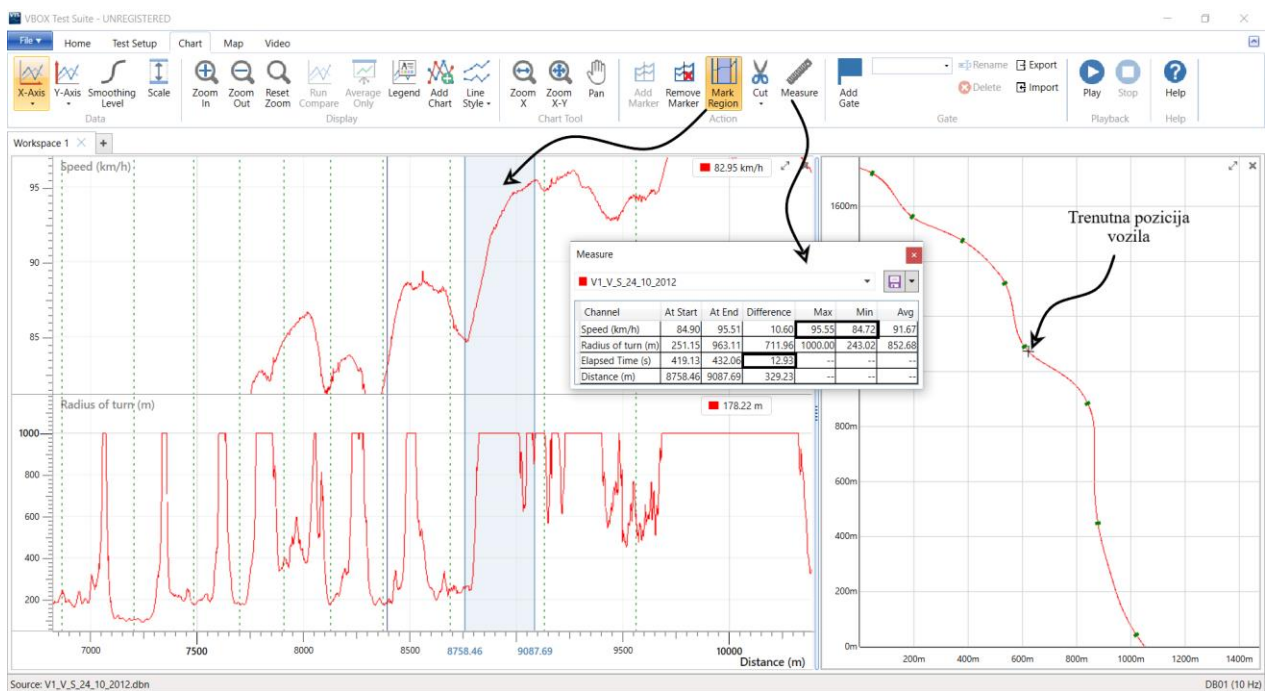
Slika 4. *VBOX Test Suite* [14]

Očitavanje prikupljenih podataka na analiziranoj dionici provodi se pomoću računalnog programa *VBOX Test Suite* [14]. Na osi apscisa (X os) kao parametri nalazi se prijeđena udaljenost u metrima (m), dok se na osi ordinata (Y os) nalaze brzina (izražena u km/h) i

radijus horizontalne krivine (izražen u metrima) kao parametri, kao što je prikazano *Slikama 5.i 6.*



Slika 5. VBOX Test Suite



Slika 6. VBOX Test Suite- Primjer očitavanja podataka

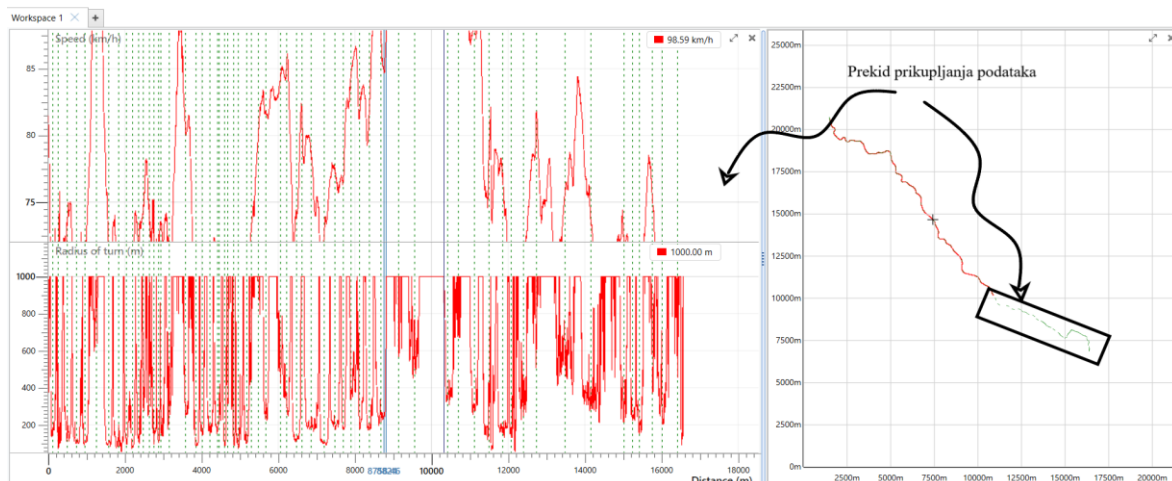
Također, pregledom očitanih podataka iz navedenih priloga mogu se uočiti pojedine prazne ćelije za određene segmente promatrane dione. Međutim, vidi se kako broj podataka koji

nedostaju nije velik, stoga, kao takav, ima zanemariv utjecaj na provedenu analizu. Podaci u očitavanju nedostaju iz različitih razloga.

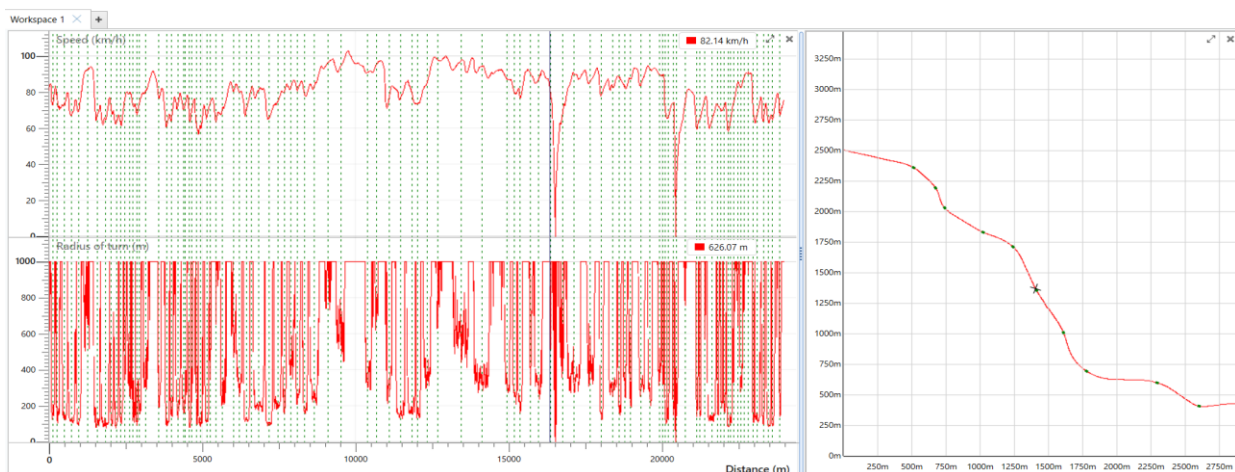
Prvi razlog nedostatka pojedinih podataka jest zaustavljanje ispitnog vozila, odnosno prekid prikupljanja podataka zbog vanjskog ometanja prometa na promatranoj dionici, kao što je prikazano *Slikom 7*.

Nepravilni podaci predstavljaju još jedan razlog nedostatka pojedinih podataka. Naime, iz *Slike 8*, vidljivo je zaustavljanje vozila (brzina iznosi 0 km/h), zatim ponovno pokretanje vozila promatranom dionicom. Ovakve greške prilikom prikupljanja podataka nastaju također iz razloga uvjeta slobodne vožnje.

Međutim, s obzirom da je riječ o malom broju podataka koji nedostaju, analiza ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac može se provesti neometano.



Slika 7. Nedostatak podataka zbog isključivanja vozila iz prometa



Slika 8. Nepravilni podaci zbog zaustavljanja vozila

S obzirom na trenutno poznate podatke o brzinama u horizontalnoj krivini i na pravcu te proteklom vremenu, iz navedenih veličina moguće je izračunati intenzitet ubrzanja a_x (m/s^2).

Na temelju navedenih podataka izračunato je ubrzanje vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac.

Vrijednosti ubrzanja u provedenom istraživanju računane su prema sljedećem izrazu:

$$a_x = \frac{\Delta V}{3,6 \cdot \Delta t} = \frac{V_p^{i+1} - V_k^i}{3,6 \cdot \Delta t} \quad (2)$$

gdje je:

V_p^{i+1} (km/h) najveća individualna brzina na pravcu (element $i + 1$),

V_k^i (km/h) najmanja individualna brzina u prethodnoj krivini (element i)

Δt (s) predstavlja proteklo vrijeme između ostvarivanja brzina V_k^i i V_p^{i+1} .

S obzirom da je brzina izmjerena u km/h, potrebno je vrijednosti brzine podijeliti s 3,6, stoga se u izrazu pojavljuje vrijednost 3,6.

S obzirom na sve poznate parametre, za svaki očitani segment izračunato je ubrzanje vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac za 20 vozača koji su sudjelovali u istraživanju, što je prikazano u *Prilogu 2* i *Prilogu 3*.

Za potrebe ovoga istraživanja razmatrane su 85% i 50% vrijednost intenziteta ubrzanja, stoga je potrebno izračunati vrijednosti intenziteta ubrzanja poredati po veličini. Na temelju ovoga kriterija moguće je odrediti 85% i 50% vrijednosti intenziteta ubrzanja. Navedene vrijednosti intenziteta ubrzanja prikazane su u *Prilogu 4* i *Prilogu 5*.

Isto tako, ovo istraživanje također obuhvaća analizu zavisnosti ubrzanja 85-postotnog vozača koji je odabran prema brzinama ostvarenim u horizontalnim krivinama.

Sve vrijednosti 85 -postotnog vozača prikazane su u *Prilogu 6*. i *Prilogu 7*.

Svi prethodno navedeni podaci (85% i 50% vrijednosti intenziteta ubrzanje te vrijednosti ubrzanja 85-postotnog vozača) primijenjeni su za analizu zavisnosti ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac o geometrijskim obilježjima trase. Provedena analiza prikazana je u nastavku.

6. ANALIZA UTJECAJA GEOMETRIJSKIH KARAKTERISTIKA TRASE NA INTENZITET UBRZANJA

Iako do danas u svijetu postoji relativno mali broj istraživanja ovisnosti intenziteta ubrzanja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste, to ne umanjuje vrijednost i potrebe provedbe ovakvih istraživanja. Analizom brzina snimljenih u sklopu istraživanja na dvotračnoj vangradskoj cesti i izračunavanjem ubrzanja na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac, može se uvidjeti zavisnost ostvarenih intenziteta ubrzanja o geometrijskim karakteristikama promatrane dionice. Stoga, prvi korak u postupku analize ovisnosti intenziteta ubrzanja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste jest izrada statističkih modela. U prethodnim istraživanjima, za potrebe analize ovisnosti, primjenjivao se model višestruke linearne regresije. S obzirom da je više parametara koji utječu na vozačev izbor brzine, u ovome radu upotrijebljena je višestruka linearna regresija. U nastavku rada opisana su osnovna obilježja višestruke linearne regresije te su prikazani razvijeni modeli analize ovisnosti ubrzanja, na temelju kontinuirano snimljenih podataka.

6.1. Višestruka linearna regresija

Regresija je postupak modeliranja numeričke procjene izlazne vrijednosti na temelju numeričkih ili kategoričkih ulaznih vrijednosti. Mnogo je situacija u kojima treba predvidjeti numeričku vrijednost na temelju nekih ulaznih značajki.

Općenito, regresijska analiza bavi se ispitivanjem ovisnosti jedne slučajne varijable o jednoj ili više nezavisnih varijabli. Na temelju niza mjerenja određuje se analitički izraz koji u određenom smislu najbolje opisuje ovisnost zavisne varijable o nezavisnim varijablama, a sastoji se od determinističke (funkcionalne) komponente i slučajne pogreške. Opći model jednostruke linearne regresije glasi [16]:

$$Y = a + b \cdot X + e \quad (3)$$

dok opći model višestruke linearne regresije glasi:

$$Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_k \cdot X_k + e \quad (4)$$

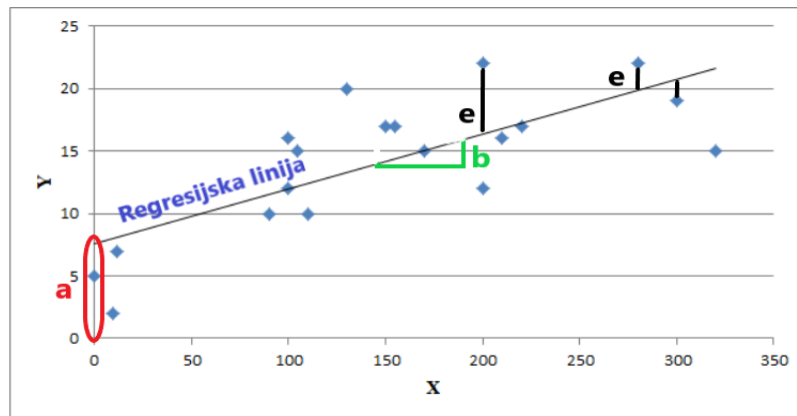
gdje je:

Y : zavisna varijabla (npr. ubrzanje vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac)

X_1, X_2, \dots, X_k : nezavisne varijable (npr. duljina pristupnog pravca, polumjer krivine, duljina kružnog luka, skretni kut, polumjeri okolnih krivina, duljine okolnih pravaca, duljine okolnih prijelaznica, uzdužni nagib)

a, b_1, b_2, \dots, b_k : nepoznati parametri koji se određuju metodom najmanjih kvadrata

e : slučajna pogreška (rezidual), odnosno onaj dio varijabilnosti koji nije moguće objasniti modelom



Slika 9. Parametri višestruke linearne regresijske analize

Na samom početku provođenja višestruke linearne regresijske analize potrebno je definirati zavisne i moguće nezavisne varijable. Za potrebe ovoga istraživanja, kao zavisne varijable razmatrane su 85% i 50% vrijednosti intenziteta ubrzanja vozila te vrijednosti ubrzanja 85-postotnog vozača, dok nezavisne varijable predstavljaju geometrijski elementi analizirane dionice.

Nakon određivanja zavisnih i mogućih nezavisnih varijabli, potrebno je ispitati linearnosti između zavisne i pojedine nezavisne varijable. Provjera linearnosti između zavisne i pojedine nezavisne varijable određuje se crtanjem pojedinačnih dijagrama rasipanja i vizualnim pregledavanjem dijagrama. U slučaju nelinearnosti, nezavisnu varijablu potrebno je linearizirati, odnosno potrebno je pronaći funkciju koja najbolje opisuje ponašanje pojedine nezavisne varijable u odnosu na promatranu zavisnu varijablu.

Nadalje, idući korak u analizi višestruke linearne regresije jest utvrđivanje oblika modela te svojstava varijabli i parametara. Za određivanje nepoznatih parametara najčešće se primjenjuje metoda najmanjih kvadrata čiji je smisao da zbroj kvadrata slučajnih pogrešaka bude minimalan. Nakon što se odredi regresijski model, potrebno je ispitati kakvoću i upotrebljivost dobivenih rezultata. Računaju se elementi analize varijance, testiraju se hipoteze o parametrima u regresijskom modelu te se provjerava da li su ispunjene polazne pretpostavke o modelu. Najčešće korišteni pokazatelji reprezentativnosti modela, koji su analizirani i u ovome radu, su koeficijent determinacije R^2 i korigirani koeficijent determinacije $\overline{R^2}$. Nedostatak koeficijenta determinacije jest što nije nepristran. Naime, koeficijent determinacije je to veći što je veći broj nezavisnih varijabli regresijskog modela, bez obzira jesu li one značajne za objašnjavanje varijacije zavisne varijable ili nisu. Stoga se, pri relativno malom broju podataka, definira tzv. korigirani koeficijent determinacije koji ovisi o broju stupnjeva slobode (broju nezavisnih varijabli u modelu te broju podataka). Korigirani koeficijent determinacije je ili jednak koeficijentu determinacije, ili je manji od njega [17].

Nakon što se odredi regresijski model, uobičajeno je da se u daljnjoj analizi modela računaju intervalne procjene parametara i testiraju hipoteze o značajnosti odabranih nezavisnih varijabli. Postupci testiranja hipoteza o značajnosti nezavisnih varijabli u višestrukoj linearnoj regresiji mogu se svrstati u dvije grupe: test o značajnosti jedne nezavisne varijable modela (Studentov t-test) i test o značajnosti svih nezavisnih varijabli modela (Fisherov F-test).

Kod pojedinačnog testa se nultom hipotezom pretpostavlja da parametar kojeg se testira nije statistički značajan (jednak 0), dok se alternativnom hipotezom pretpostavlja da je značajan (različit od 0). Testiranje se vrši t-testom uspoređujući empirijske i tablične vrijednosti uz određenu razinu značajnosti. T-test je statistički postupak za testiranje značajnosti razlike između dva uzorka. U tom pogledu, t-test služi za provjeru nulte hipoteze koja se postavlja prilikom formiranja istraživanja. Ispituje se da li postoji statistički značajna razlika između promatranih varijabli. Ako t-test pokaže da razlika među aritmetičkim sredinama nije statistički značajna, onda je nulta hipoteza potvrđena, a ako je razlika statistički značajna, nulta hipoteza je oborena. Osim pojedinačnih t-testova, određuju se i intervalne procjene parcijalnih regresijskih parametara uz razinu pouzdanosti od 95%.

Nultom se hipotezom skupnog testa pretpostavlja da niti jedna od regresijskih varijabli nema utjecaja na varijacije zavisne varijable. Alternativna hipoteza je po svom sadržaju suprotna

nultoj hipotezi, pa glasi da je barem jedna od regresijskih varijabli značajna u modelu. Odluka o odbacivanju nulte hipoteze donosi se uz zadanu (teorijsku) razinu značajnosti (najčešće 0.05, odnosno 5%). Razina značajnosti se interpretira: ako je nulta hipoteza istinita onda će se, otprilike, u 95 od 100 ponavljanja po n mjerenja, eksperimentalni podatak naći u području prihvaćanja, a oko 5 puta u području odbacivanja. Rezultati F-testa mogu se interpretirati i u smislu razine pouzdanosti, tj. razina pouzdanosti od 95% odgovara razini značajnosti od 5%. Velike vrijednosti F-omjera i male empirijske ili opažene razine značajnosti (p-vrijednost) ukazuju na to da se analiziranim nezavisnim varijablama može objasniti veliki dio varijabilnosti zavisne varijable.

Reprezentativnost dobivenog regresijskog modela potrebno je dokazati i testiranjem polaznih pretpostavki. Osnovne pretpostavke modela linearne regresijske analize su sljedeće [23]:

1. slučajne pogreške su nezavisne, međusobno nekorelirane varijable koje se “ravnaju” po normalnoj razdiobi $N(0, \sigma^2)$, odnosno s očekivanjima 0 i konstantnom varijancom,
2. varijance izmjerenih vrijednosti oko regresijskog pravca ne mijenjaju se s porastom nezavisnih varijabli (tzv. svojstvo homoskedastičnosti) i
3. nezavisne varijable su međusobno nekorelirane [18].

Testiranje prve pretpostavke (1.) najlakše je provesti grafički, pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe (engl. normal probability plot) ili histograma frekvencija standardiziranih reziduala. Na papiru vjerojatnosti normalne razdiobe uspoređuju se vrijednosti opaženih i očekivanih vjerojatnosti standardiziranih reziduala. Ukoliko se radi o normalnoj razdiobi, opažene vjerojatnosti gotovo ne odstupaju od očekivanih vjerojatnosti kada bi rezidualna odstupanja bila normalno distribuirana (dijagonalna linija).

Druga pretpostavka (2.) se također ispituje grafički, analizirajući rezidualna odstupanja u odnosu na prognoziranu vrijednost (zavisnu varijablu). Svojstvo homoskedastičnosti je zadovoljeno kada se graf sastoji od slučajnog niza točaka, neravnomjerno raspoređenih oko nule. Što znači da greške modela trebaju ispunjavati pretpostavku o jednakosti varijanci. O tome se zaključuje na temelju procjena grešaka modela, tj. na temelju reziduala. Zbog toga se umjesto o zaključivanju o jednakosti varijanci grešaka često govori o analizi homogenosti reziduala. Grafički prikaz reziduala u ovisnosti o predikcijama, tj. dijagram raspršenosti, može pomoći kod uočavanja nehomogenosti reziduala. Ako se u tom dijagramu uočava sustavno povećanje ili smanjenje raspršenosti vezano uz vrijednosti, to je znak da varijance nisu homogene.

Ukoliko nije zadovoljena posljednja pretpostavka (3.), radi se o problemu multikolinearnosti regresijskog modela. Naime, ukoliko su barem dvije regresijske varijable linearno zavisne ili približno linearno zavisne, tada je prisutan problem multikolinearnosti. U principu ne postoji test ili točno definiran način za otkrivanje multikolinearnosti. Zapravo, nije bitno praviti razliku između prisutnosti i odsutnosti multikolinearnosti, već između različitih stupnjeva multikolinearnosti. Za to postoje različiti indikatori, kao što su:

- Visok R^2 , a niske t-vrijednosti: ako je R^2 visok, npr. viši od 0.8, F-testom će se odbaciti hipoteza da su svi parametri u funkciji jednaki nuli. Tako je i kod multikolinearnosti, međutim ono što je kontradiktorno, pojedini t-testovi pokazuju da niti jedan parametar (ili samo neki od njih) nije različit od nule.
- Visoki koeficijent korelacije između varijabli: ako su koeficijenti korelacije među nezavisnim varijablama visoki (recimo iznad 0,8), to može biti znak visoke koreliranosti među tim varijablama. Međutim, taj pokazatelj nije uvijek pouzdan jer može biti nizak, a da multikolinearnost u modelu ipak postoji. Naime, moguće je da nezavisne varijable u grupi djeluju multikolinearno. Zato je, kada se radi o modelu s više od dvije nezavisne varijable, potrebno računati koeficijent parcijalne korelacije.
- Inflacijski faktor varijance (VIF)

Jedan od načina rješavanja problema multikolinearnosti jest izbaciti varijablu ili varijable koje su korelirane. To nije jednostavno rješenje jer može prouzrokovati specifikacijsku pogrešku i sve posljedice koje ona nosi. Drugi način je povećavanje broja podataka u uzorku, s obzirom da je multikolinearnost problem uzorka, a ne populacije. Time će se obuhvatiti više varijacija promatranih varijabli. Ipak, nije moguće uvijek dobiti veći uzorak podataka.

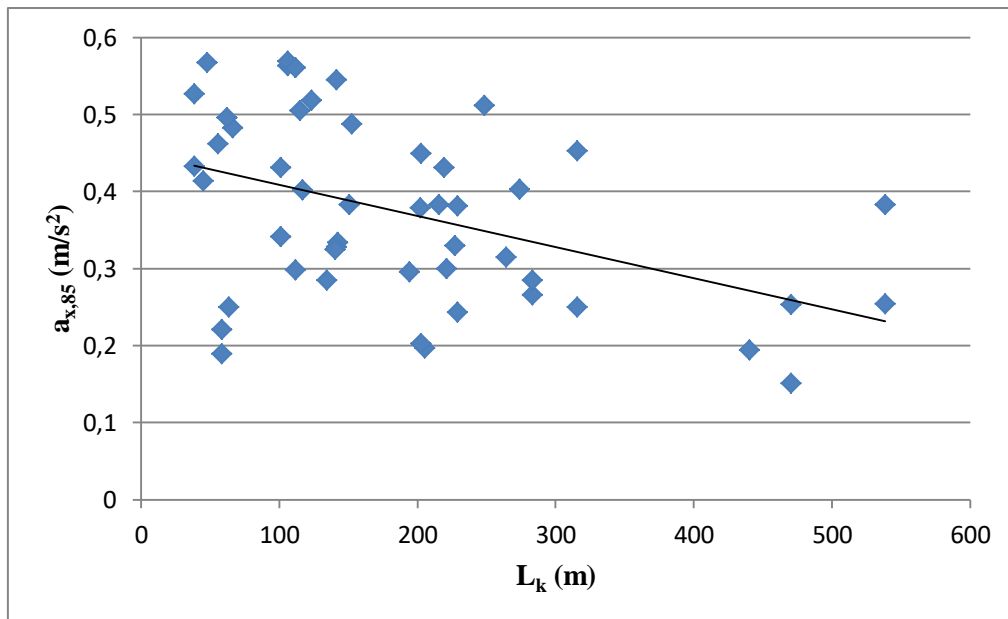
Poznavajući osnove višestruke linearne regresije, može se izvršiti analizu ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac ovisno o geometrijskim karakteristikama promatrane trase.

6.2. Analiza ovisnosti intenziteta 85% ubrzanja o geometrijskim karakteristikama trase

Postojeći modeli za predviđanje intenziteta ubrzanja na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac izrađeni su pomoću višestruke linearne regresije, a najčešće razmatrane nezavisne varijable su duljina pravca, duljine okolnih pravaca, polumjer krivine, polumjeri okolnih krivina i uzdužni nagib. Međutim, prethodnim istraživanjima se pokazalo kako mnoge od navedenih nezavisnih varijabli imaju minimalan utjecaj na intenzitet ubrzanja vozila. Isto tako, pokazalo se kako polumjer promatrane horizontalne krivine ima najveći utjecaj na intenzitet ubrzanja vozila, što je vidljivo u *Tablici 1*.

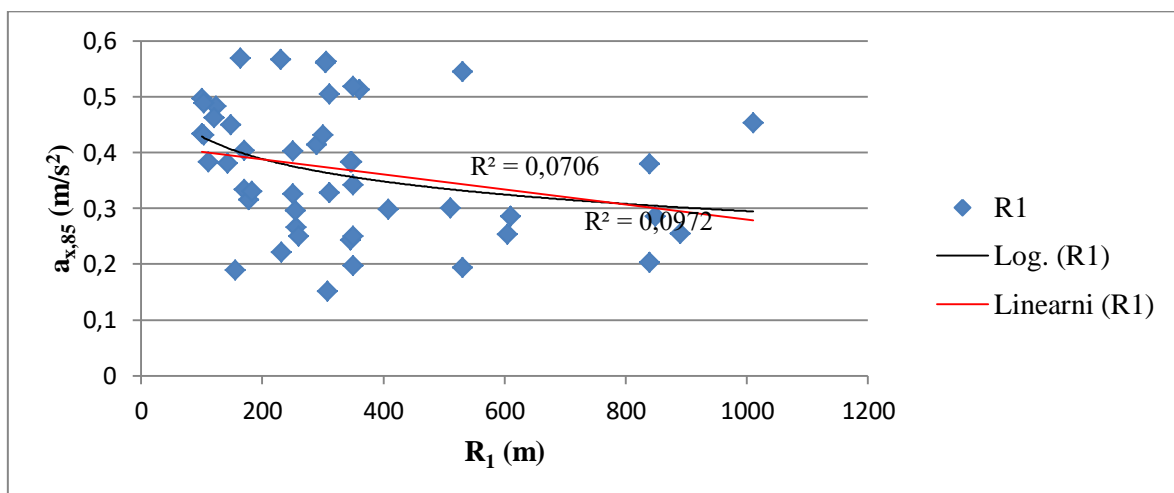
U ovome radu provodi se analiza ovisnosti intenziteta ubrzanja vozila metodom višestruke stupanjske regresijske analize. Za nezavisne varijable odabrane su: duljina pristupnog pravca L_p (m), polumjer krivine R (m), duljina kružnog luka L_k (m), skretni kut ($^\circ$), polumjeri okolnih krivina R_1, R_2 (m), duljine okolnih pravaca L_{p1}, L_{p2} (m), duljine okolnih prijelaznica L_1, L_2 (m) i uzdužni nagib (%). Za provedbu analize ubrzanja upotrijebljene su najmanje brzine zabilježene u horizontalnim krivinama te najveće brzine zabilježene na pravcima. Analizirana dionica sastoji se od 97 horizontalnih krivina (raspona polumjera od 80 do 1010 m) i 92 pravca (duljina do 700 m). Za potrebe ovoga istraživanja promatrani su segmenti dionice koji se sastoje od pravaca duljine veće od 120 m. Stoga, za potrebe analize intenziteta ubrzanja razmatrana su 24 segmenta u svakom smjeru. Analiza ovisnosti intenziteta ubrzanja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste provedena je u računalnom programu za statistiku JASP [19].

Crtanjem pojedinačnih dijagrama rasipanja u računalnom programu Excel i vizualnim pregledavanjem dijagrama, odabrane su nezavisne varijable koje najbolje opisuju analizu intenziteta 85% ubrzanja vozila. Primjenom višestruke stupanjske regresije dobiven je konačni model koji se sastoji od jedne nezavisne varijable, a to je duljina kružnog luka L_k (m) u linearnom obliku.



Slika 10. Ovisnost intenziteta 85% ubrzanja vozila $a_{x,85}$ o duljini kružnog luka L_k (m)

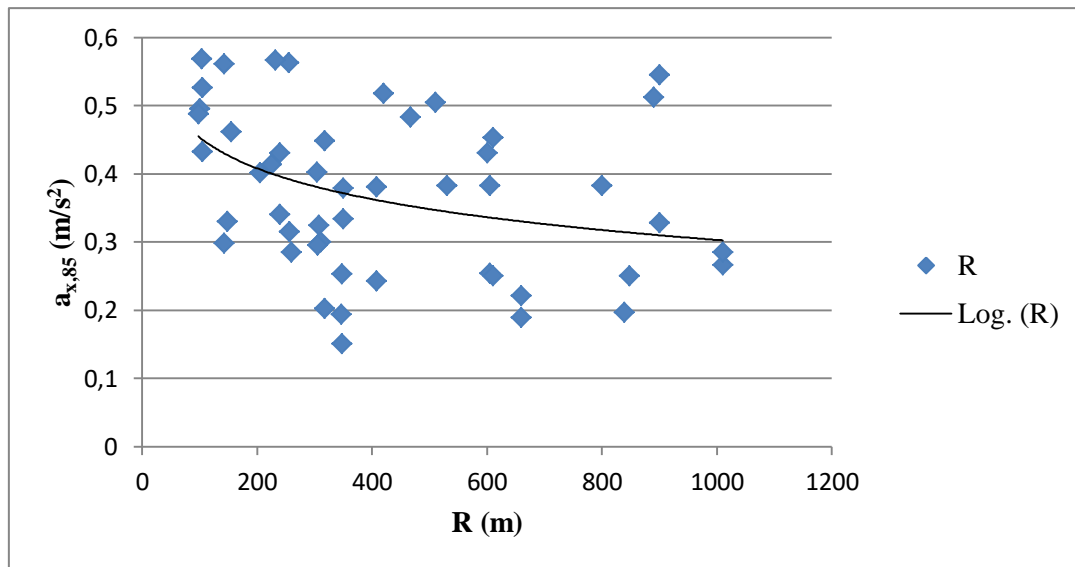
Ostale analizirane varijable su izbačene iz modela jer nisu pokazale statistički značajan utjecaj (primjerice radijus prethodne horizontalne krivine R_1 (m) - Slika 11.).



Slika 11. Statistički neznačajan utjecaj (R_1)

Prema prijašnjim modelima, ubrzanje najviše ovisi o polumjeru horizontalne krivine R (m). Iako u ovom istraživanju značajniji utjecaj ima duljina kružnog luka L_k (m), varijabla polumjera horizontalne krivine R (m) ne može se sasvim isključiti iz utjecaja na intenzitet ubrzanja vozila. Radijus horizontalne krivine R (m) i duljina kružnog luka L_k (m) usko su

vezani, stoga može se reći kako radijus horizontalne krivine R (m) ima neposredan utjecaj na intenzitet 85% ubrzanja vozila.



Slika 12. Odnos 85% ubrzanja $a_{x,85}$ i polumjera horizontalne krivine R (m)

Analizirano je nekoliko modela s različitim kombinacijama nezavisnih varijabli, a najboljim se pokazao sljedeći:

$$a_{x,85} = 0,509 - 0,0006675 \cdot L_k \quad (5)$$

Iz prethodno navedenog izraza može se zaključiti kako se intenzitet ubrzanja vozila smanjuje s povećanjem duljine kružnog luka. Veća duljina kružnog luka općenito znači i veće vrijednosti polumjera horizontalne krivine. Stoga, vozači u krivinama s manjim duljinama kružnog luka, a samim time i manjim vrijednostima polumjera horizontalne krivine, naglo smanjuju brzinu kako bi sigurno svladali horizontalnu krivinu. Nakon svladavanja krivine, vozači na dolazećim pravcima naglo povećavaju brzinu, što dovodi do većih vrijednosti intenziteta ubrzanja vozila, kao što je prikazano na Slici 10.

Tablica 4. Procjene pokazatelja reprezentativnosti modela 85% ubrzanja $a_{x,85}$ - sažeti prikaz**Model – sažeti prikaz^b**

Model	R	R ²	$\overline{R^2}$	Standardna pogreška procjene
1	0,442 ^a	0,196	0,179	0,107
^a Nezavisna varijabla: (konstanta), L_k				
^b Zavisna varijabla: $a_{x,85}$				

U *Tablici 4.* prikazane su vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela: koeficijent korelacije (R), koeficijent determinacije (R^2), korigirani koeficijent determinacije ($\overline{R^2}$) i standardna pogreška procjene.

Dobiveni model ima relativno male vrijednosti koeficijenta determinacije ($R^2 = 0.196$), kao i korigiranog koeficijenta determinacije ($\overline{R^2} = 0.179$), uz prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti ubrzanja vozila od $0,107 \text{ m/s}^2$ (standardna pogreška procjene).

Iako, već vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela upućuje na nepouzdanost modela za predviđanje intenziteta 85% ubrzanja $a_{x,85}$ (m/s^2) vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac, svakako će se detaljno ispitati kvaliteta i reprezentativnost dobivenog modela. Drugim riječima, provest će se testiranje hipoteza o modelu.

Tablica 5. Tablica analize varijance (ANOVA) modela 85% ubrzanja $a_{x,85}$ **ANOVA^b**

Model	Broj stupnjeva slobode	Zbroj kvadrata odstupanja	Srednje kvadratno odstupanje	Empirijski F-omjer	p-vrijednost	
1	Regresijska funkcija (model)	1	0,130	0,130	11,431	0,001 ^a
	Rezidualno odstupanje	47	0,533	0,011		
	Ukupno odstupanje	48	0,663			
^a Nezavisna varijabla: (konstanta), L_k						
^b Zavisna varijabla: $a_{x,85}$						

ANOVA je metoda kojom se uspoređuju aritmetičke sredine više uzoraka te se na temelju F-testa donosi zaključak o (ne)postojanju značajnih razlika između sredina više populacija. Na taj se način analizira utjecaj jedne ili više nezavisnih varijabli na jednu numeričku zavisnu varijablu. Ako je F-test statistički značajan tada se može odbaciti nulta hipoteza da se aritmetičke sredine između grupa statistički značajno ne razlikuju. Drugim riječima, nultom

hipotezom se pretpostavlja da određeni faktor značajno ne djeluje na promatranu slučajnu varijablu, dok se alternativnom hipotezom pretpostavlja da određeni faktor statistički značajno djeluje na promatranu slučajnu varijablu.

Rezultati skupnog testa (Fisherova F raspodjela), koji su prikazani u tablici ANOVA (Tablica 6.), dokazuju da razvijeni model nije statistički značajan. Izračunata F-vrijednost (11,431), koja je znatno manja od kritične vrijednost iz tablice F-distribucije pri zadanoj razini značajnosti od 5% ($F_{0,05[47,1]} = 251,6$ [20]) ukazuje na to da dobiveni nije model statistički značajan. Iako je vrijednost empirijske razine značajnosti ($p < 0.001$) jako mala, pitanje statističke značajnosti prikazanog modela se dovodi u pitanje. To bi značilo da odabrana nezavisna varijabla (duljina kružnog luka L_k (m)) ne objašnjava značajan dio varijabilnosti nezavisne varijable.

Prema procijenjenim pokazateljima reprezentativnosti modela, nije ustanovljena geometrijska karakteristika trase na temelju koje vozači biraju intenzitet 85% ubrzanja vozila $a_{x,85}$ (m/s^2). Promatrajući model, utjecaj duljine kružnog luka iznosi 19,6% ($R^2 = 0,196$), dok ostalih 80,4% varijabilnosti intenziteta ubrzanja nije bilo moguće objasniti analiziranim nezavisnim varijablama. U taj neobjašnjeni dio varijabilnosti spadaju čimbenici koje je teško identificirati, kao npr. stil vožnje pojedinog vozača (ovisi o samom karakteru vozača, odmorenosti, svrsi putovanja i sl.).

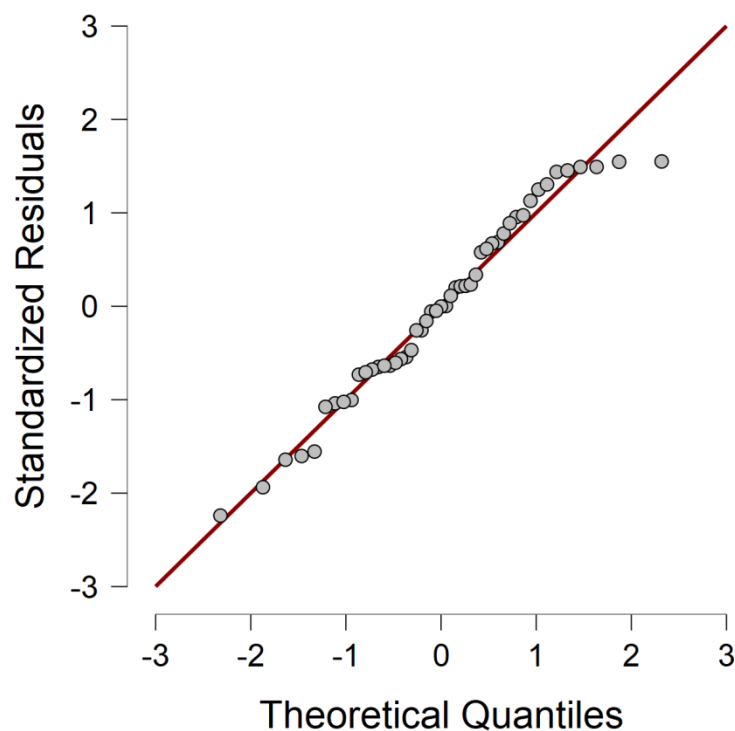
Idući korak višestruke stupanjske regresijske analize jest određivanje vrijednosti ocijenjenih parametara modela, njihove standardne pogreške, empirijski t-omjeri te p-vrijednosti, kao i mjere za ispitivanje multikolinearnosti nezavisnih varijabli. Drugim riječima, tijekom provođenja regresijske analize uobičajeno je izvršiti testiranje hipoteza o značajnosti nezavisnih varijabli. Testovi koji se koriste su Studentov t-test (test o značajnosti jedne nezavisne varijable) te Fisherov F-test (test o značajnosti svih nezavisnih varijabli modela) koji je prethodno prikazan u Tablici 5. Studentov t-test koristi se kada se želi usporediti utjecaj pojedine nezavisne varijable na zavisnu varijablu. Na taj način u promatranom modelu se može ustanoviti koja nezavisna varijabla (geometrijska karakteristika trase ceste) ima najveći utjecaj na promatranu zavisnu varijablu (intenzitet ubrzanja vozila). Međutim, dobiveni model analize intenziteta 85% ubrzanja nije pouzdan, stoga određivanje standardne pogreške, empirijskih t-omjera, p-vrijednosti te ispitivanje multikolinearnosti nezavisnih varijabli nije potrebno provoditi. Također, isto vrijedi za standardizirani regresijski parametar *Beta* koeficijent. Standardizirani koeficijent za određenu nezavisnu varijablu, koji se mjeri u

jedinicama standardne devijacije, pokazuje za koliko će se standardnih devijacija promijeniti zavisna varijabla ako se nezavisna varijabla promjeni za jednu standardnu devijaciju. Veća vrijednost *Beta* koeficijenta znači snažniji utjecaj nezavisne varijable na zavisnu.

Koristeći računalni program JASP, također se može odrediti autokorelacija reziduala iz statističke regresijske analize (Durbin- Watsonov test). Do zaključka o koreliranosti dolazi se analizom reziduala. Prisutnost serijske korelacije u podacima predstavlja problem jer ukazuje na to da možda postoji bitna informacija koja nije uključena u model te da model iznova ponavlja sličnu grešku pokušavajući opisati ovisnu varijablu. Durbin-Watson statistika uvijek će imati vrijednost između 0 i 4. Vrijednost 2,0 znači da u uzorku nije otkrivena autokorelacija. Vrijednosti od 0 do manje od 2 ukazuju na pozitivnu autokorelaciju, a vrijednosti od 2 do 4 negativnu autokorelaciju.

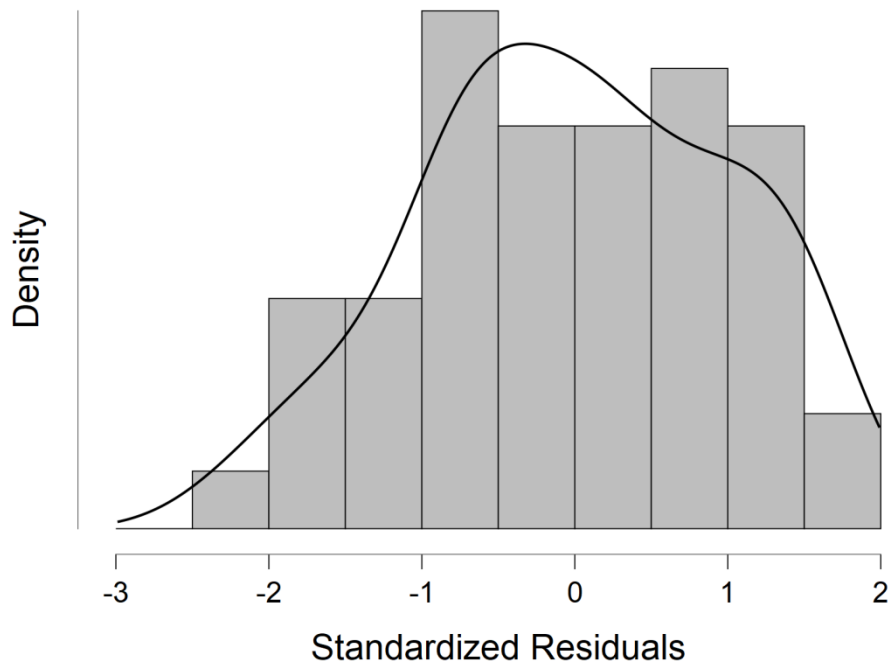
Za odabrani model intenziteta 85% ubrzanja vozila, dobivena Durbin- Watson vrijednost je 2,438 što ukazuje da u promatranom uzorku nije otkrivena autokorelacija.

Reprezentativnost dobivenog modela potrebno je dokazati i testiranjem polaznih pretpostavki. Testiranje prve pretpostavke (1.) provodi se grafički, pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe (engl. normal probability plot) ili histograma frekvencija standardiziranih reziduala.



Slika 13. Papir vjerojatnosti normalne razdiobe

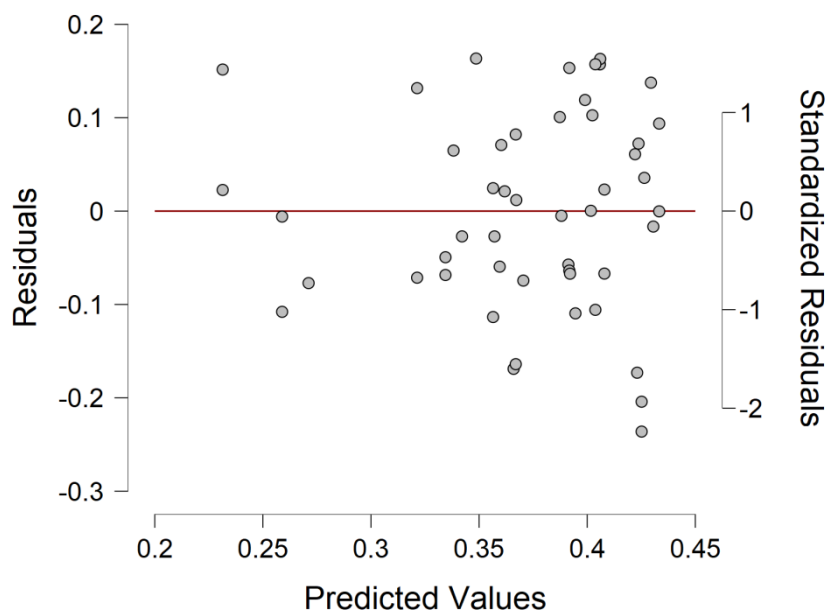
Grafički prikaz papira vjerojatnosti (*Slika 13.*) pokazuje da pogreške nisu slučajne te postoji odstupanje od normalne razdiobe. Rezidualna odstupanja nisu normalno distribuirana (ne ravnaju se po dijagonalnoj liniji- opažene vjerojatnosti odstupaju od očekivanih vjerojatnosti). Dakle, razdioba pogrešaka odstupa značajnije od normalnosti.



Slika 14. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala

Histogram frekvencija standardiziranih reziduala uspoređuje se s grafom normalne razdiobe $N(0, 1)$. Prikazanim histogramom (*Slika 14.*) može se zaključiti kako reziduali nisu normalno distribuirani. Dakle, pretpostavka (1.) nije zadovoljena.

Druga pretpostavka (2.) se također ispituje grafički, analizirajući rezidualna odstupanja u odnosu na prognoziranu vrijednost (nezavisnu varijablu).



Slika 15. Odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala

Svojstvo homoskedastičnosti je narušeno, što je prikazano dijagramom sa *Slike 15*. Naime, može se uočiti da varijance pogrešaka rastu s povećavanjem vrijednosti zavisne varijable, odnosno varijanca se ne može smatrati konstantnom.

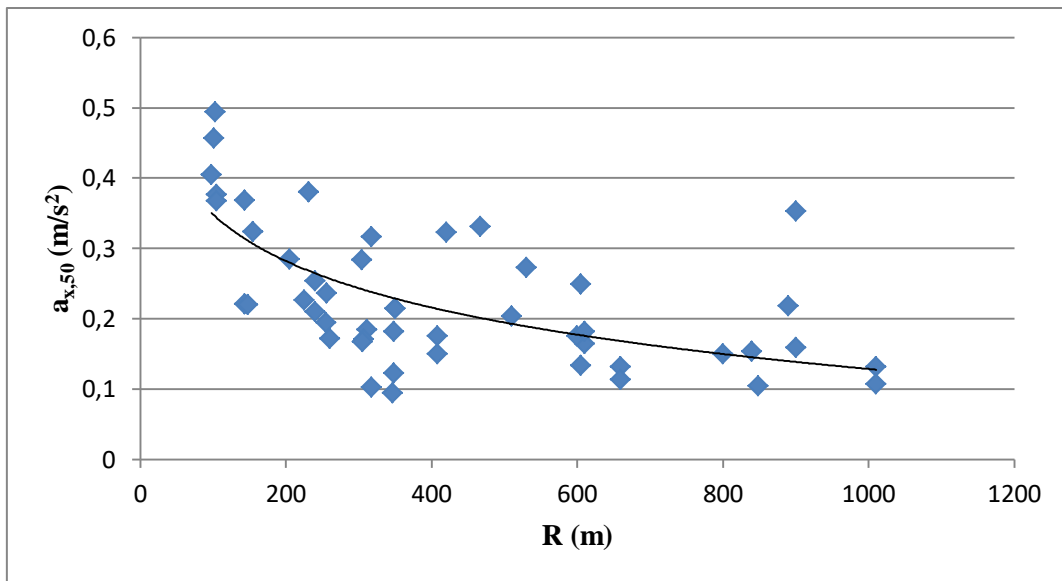
Može se zaključiti kako je prikazani model intenziteta 85% ubrzanja $a_{x,85}$ (m/s^2) ovisan o samo jednoj geometrijskoj karakteristici trase ceste, a to je duljina kružnog luka L_k (m). Provedenom statističkom analizom dokazano je kako definirani model nije pouzdan za predviđanje 85% ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac.

6.3. Analiza ovisnosti intenziteta 50% ubrzanja o geometrijskim karakteristikama trase

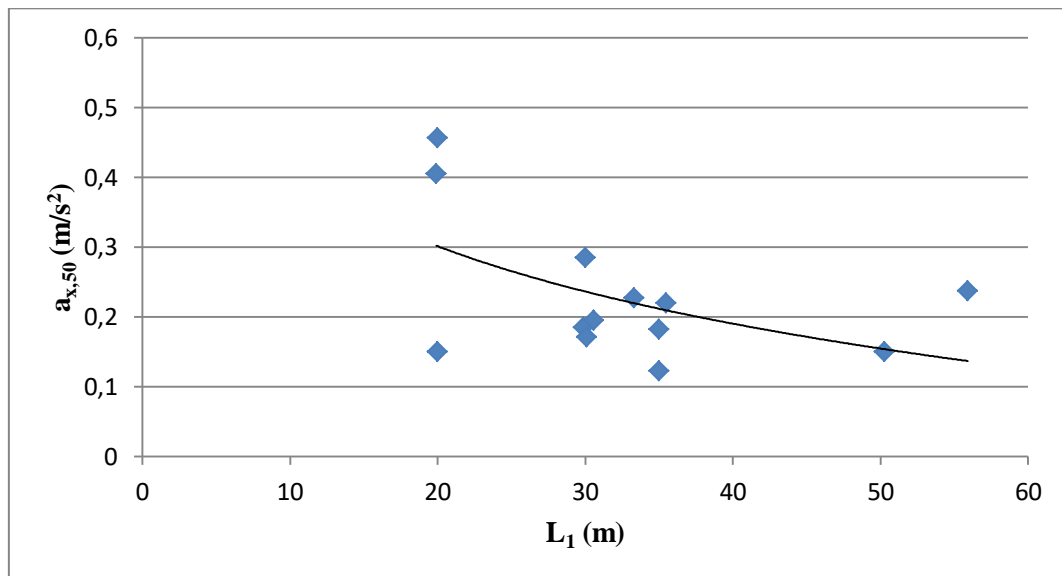
Iako prethodno nije definiran pouzdan model (za intenzitet 85% ubrzanja $a_{x,85}$), u nastavku rada analizirat će se ovisnosti intenziteta 50% ubrzanja $a_{x,50}$ (m/s^2) o geometrijskim karakteristikama trase. Analizirana dionica je ista kao u prethodnom poglavlju, kao i sve ostale karakteristike analize ovisnosti ubrzanja, dok je jedina razlika u zavisnoj varijabli regresijske analize, a to je upravo intenzitet 50% ubrzanja $a_{x,50}$ (m/s^2).

Crtaњem pojedinačnih dijagrama rasipanja u računalnom programu Excel i vizualnim pregledavanjem dijagrama, odabrane su nezavisne varijable koje najbolje opisuje analizu intenziteta 50% ubrzanja vozila. Primjenom višestruke stupanjske regresije dobiven je konačni model koji se sastoji od dvije nezavisne varijable, a to su: prirodni logaritam polumjera horizontalne krivine $\ln R$ (m) te prirodni logaritam duljine prethodne prijelaznice $\ln L_1$ (m). Za nezavisne varijable su odabrane logaritamske vrijednosti jer bolje opisuju zavisnost analize 50% ubrzanja vozila, nego što to čini linearna funkcija. Iz zabilježenih podataka uočeno je da su vrijednosti intenziteta 50% ubrzanja vozila kod oštrijih krivina (krivina manjeg polumjera) i kraćih prethodnih prijelaznica dosta veće nego kod horizontalnih krivina većeg polumjera i dužih prethodnih prijelaznica. Na temelju toga je zaključeno kako bi logaritamska funkcija bolje opisivala promatrani odnos.

Promatrajući prethodna istraživanja, uočeno je kako je nezavisna varijabla polumjera horizontalne krivine R (m) prisutna u svim dosadašnjim modelima analize ubrzanja, logično je za očekivati kako će i u budućim modelima postojati zavisnost iste (iako, u prethodnoj analizi ovoga istraživanja, ovisnost intenziteta 85% ubrzanja je neovisna o polumjeru horizontalne krivine).



Slika 16. Ovisnost intenziteta 50% ubrzanja vozila $a_{x,50}$ o polumjeru horizontalne krivine R (m)



Slika 17. Ovisnost intenziteta 50% ubrzanja vozila $a_{x,50}$ o duljini prethodne prijelaznice L_1 (m)

Ostale analizirane varijable su izbačene iz modela jer nisu pokazale statistički značajan utjecaj.

Analizirano je nekoliko modela s različitim kombinacijama nezavisnih varijabli, a najboljim se pokazao sljedeći:

$$a_{x,50} = 1,313 - 0,134 \cdot \ln R - 0,100 \ln L_1 \quad (6)$$

Iz prethodno navedenog izraza može se zaključiti kako se intenzitet 50% ubrzanja vozila smanjuje s povećanjem polumjera horizontalne krivine i duljine pristupne prijelaznice.

Uvrštavajući srednje vrijednosti navedenih nezavisnih varijabli, dolazi se do vrijednosti intenziteta 50% ubrzanja koje su poprilično slične vrijednostima iz prethodnih istraživanja.

Tablica 6. Srednje vrijednosti nezavisnih varijabli

Nezavisna varijabla	Srednja vrijednosti
R (m)	426,648
L ₁ (m)	32,728

Uvrštavajući srednje vrijednosti prikazane u *Tablici 6.*, dolazi se do vrijednosti intenziteta 50% ubrzanja vozila:

$$a_{x,50} = 1,313 - 0,134 \cdot \ln(426,648) - 0,100 \ln(32,728) = 0,156 \text{ m/s}^2$$

Tablica 7. Procjene pokazatelja reprezentativnosti modela 50% ubrzanja $a_{x,50}$ - sažeti prikaz

Model – sažeti prikaz^b

Model	R	R ²	\bar{R}^2	Standardna pogreška procjene
1	0,906 ^a	0,821	0,785	0,046
^a Nezavisne varijable: (konstanta), lnR, lnL ₁				
^b Zavisna varijabla: $a_{x,50}$				

U *Tablici 7.* prikazane su vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela: koeficijent korelacije (R), koeficijent determinacije (R²), korigirani koeficijent determinacije (\bar{R}^2) i standardna pogreška procjene.

Dobiveni model ima zadovoljavajuće vrijednosti koeficijenta determinacije (R² = 0.821), kao i korigiranog koeficijenta determinacije (\bar{R}^2 = 0.785), uz prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti ubrzanja vozila od 0,046 m/s² (standardna pogreška procjene).

Iako, vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela upućuje na pouzdanost modela za predviđanje intenziteta 50% ubrzanja $a_{x,50}$ (m/s²) vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac, potrebno je detaljno ispitati kvalitetu i reprezentativnost dobivenog modela. Drugim riječima, potrebno je provesti testiranje hipoteza o modelu.

Tablica 8. Tablica analize varijance (ANOVA) modela 50% ubrzanja $a_{x,50}$ ANOVA^b

Model		Broj stupnjeva slobode	Zbroj kvadrata odstupanja	Srednje kvadratno odstupanje	Empirijski F- omjer	p- vrijednost
1	Regresijska funkcija (model)	2	0,097	0,049	22,926	<0,001 ^a
	Rezidualno odstupanje	46	0,021	0,002		
	Ukupno odstupanje	48	0,119			
^a Nezavisne varijable: (konstanta), lnR, lnL ₁						
^b Zavisna varijabla: $a_{x,50}$						

Rezultati skupnog testa (Fisherova F raspodjela), koji su prikazani u tablici ANOVA (Tablica 8.), pokazuju da je razvijeni model statistički značajan, uz pouzdanost od 95%. Izračunata F- vrijednost (22,926), koja premašuje kritičnu vrijednost iz tablice F-distribucije pri zadanoj razini značajnosti od 5% ($F_{0,05|48,2|} = 19,47$ [20]), uz malu vrijednost empirijske razine značajnosti ($p < 0.001$), ukazuju na to da je dobiveni model statistički značajan. Drugim riječima, s odabranim nezavisnim varijablama može se objasniti značajan dio varijabilnosti zavisne varijable. Dakle, intenzitet 50% ubrzanja vozila $a_{x,50}$ (m/s^2) vozači biraju uglavnom na temelju veličine polumjera horizontalne krivine te duljine pristupne prijelaznice, čiji sveukupni utjecaj iznosi 82,1% ($R^2 = 0,821$), dok ostalih 17,9% varijabilnosti intenziteta ubrzanja nije bilo moguće objasniti analiziranim nezavisnim varijablama. U taj neobjašnjeni dio varijabilnosti spadaju čimbenici koje je teško identificirati, kao npr. stil vožnje pojedinog vozača (ovisi o samom karakteru vozača, odmorenosti, svrsi putovanja i sl.).

Tablica 9. Regresijski koeficijenti modela 50% ubrzanja $a_{x,50}$

Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti	t- omjer	p- vrijednost	95% interval povjerenja za B		Kolinearnost	
	B	Standardna pogreška	Beta			Donja granica	Gornja granica	TOL	VIF
Konstanta	1,313	0,173		7,59	0,044	0,967	1,659		
lnR	-0,134	0,024	0,772	5,583	0,001	-0,182	-0,086	0,937	1,067
lnL ₁	-0,100	0,043	0,319	2,308	0,001	-0,186	-0,014	0,937	1,067

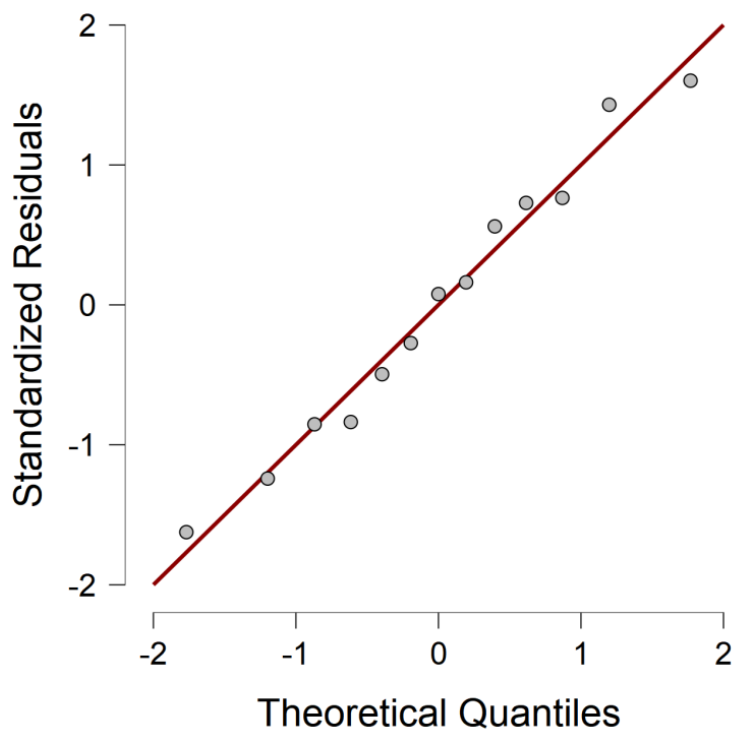
Rezultati pojedinačnih testova prikazani u *Tablici 9.* pokazuju da su svi koeficijenti modela statistički značajni uz pouzdanost od 95%. Što znači da sve odabrane nezavisne varijable dobro objašnjavaju varijabilnost zavisne varijable.

Veća vrijednost *Beta* koeficijenta znači snažniji utjecaj nezavisne varijable na zavisnu. Pri tome uočava se da polumjer krivine ima znatno veći utjecaj na intenzitet ubrzanja vozila. Naime, vrijednost standardiziranog regresijskog koeficijenta *Beta* za $\ln R$ iznosi 0,772 što je dvostruko veća od *Beta* vrijednosti za $\ln L_1$ (0.319). Također, u *Tablici 9.* prikazane su i granične vrijednosti regresijskih koeficijenata za intervalne procjene uz razinu pouzdanosti od 95%. Primjerice, za koeficijent uz varijablu $\ln R$, dobivena procjena tumači se da se (uz pouzdanost procjene od 95%) očekuje promjena intenziteta ubrzanja u intervalu od $-0,182 \cdot \ln R$ do $-0,086 \cdot \ln R$ m/s², uz pretpostavku da su ostale nezavisne varijable konstantne.

Za odabrani model intenziteta 50% ubrzanja, pomoću računalnog programa JASP, vrijednost Durbin-Watson testa iznosi 1,438 što ukazuje da su slučajne pogreške međusobno nezavisne, odnosno u promatranom uzorku nije otkrivena autokorelacija.

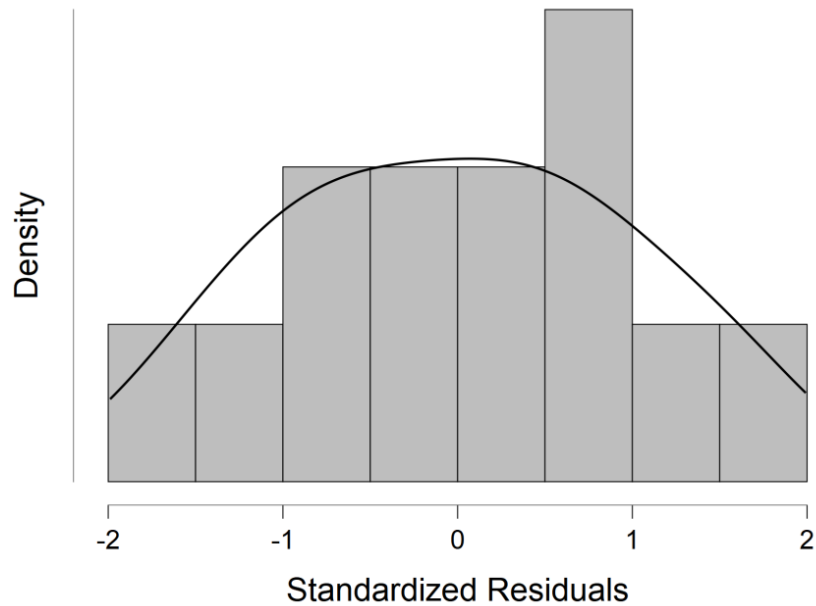
Kao i u prethodnom poglavlju, za potpuno usvajanje statističkog modela, potrebno je provjeriti jesu li zadovoljene polazne pretpostavke linearne regresije.

Testiranje prve pretpostavke (1.) provodi se grafički, pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe (engl. normal probability plot) ili histograma frekvencija standardiziranih reziduala.



Slika 18. Papir vjerojatnosti normalne razdiobe

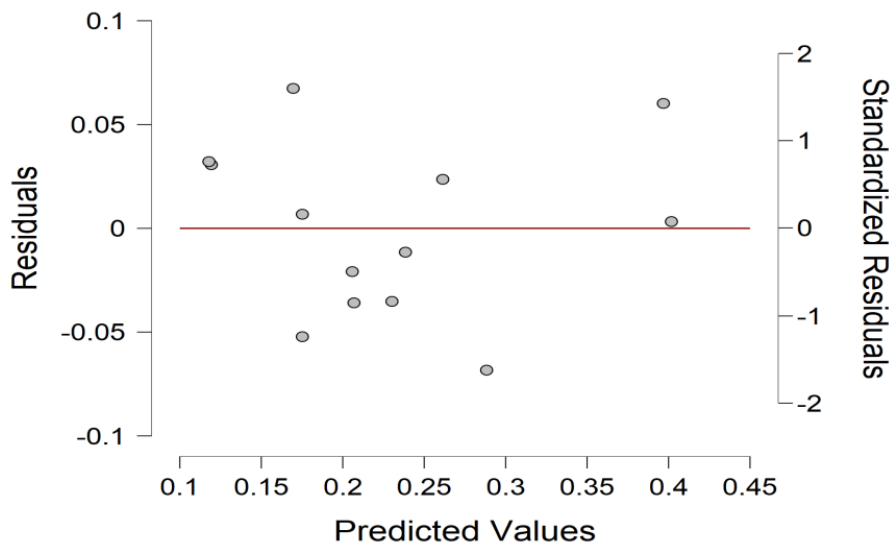
Na papiru vjerojatnosti normalne razdiobe (*Slika 18.*) može se uočiti da vrijednosti pogrešaka malo odstupaju od očekivanih za normalnu razdiobu, ali ipak, razdioba pogrešaka ne odstupa značajnije od normalnosti. Međutim, histogram frekvencija standardiziranih reziduala ne upućuje na normalnu razdiobu slučajnih pogrešaka (*Slika 19.*). Stoga se prva pretpostavka (1.) dovodi u pitanje, odnosno ne može sa sigurnošću reći da su slučajne pogreške nezavisne, međusobno nekorelirane varijable koje se “ravnaju” po normalnoj razdiobi.



Slika 19. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala

Pretpostavka o homoskedastičnosti varijance pogrešaka testirana je grafičkim prikazom odnosa prognoziranih vrijednosti i standardiziranih rezidualana, što je prikazano na *Slici 20*.

Uočava se da su standardizirani reziduali slučajno i poprilično nejednoliko raspršeni oko nule, iz čega se može zaključiti da varijance pogrešaka ne rastu s povećavanjem vrijednosti zavisne varijable. Iako se u ovom istraživanju radi s manjim brojem podataka, može se reći da je zadovoljena pretpostavka o homoskedastičnosti varijance pogrešaka, intervali povjerenja regresijskih koeficijenata isti su za sve vrijednosti zavisne varijable.



Slika 20. Odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala

Također, nepostojanje problema multikolinearnosti potvrđeno je faktorima inflacije varijance (VIF) i tolerancama (TOL) koji su prikazani u *Tablici 9*. Za više prisutnih nezavisnih varijabli, smatra se da je multikolinearnost prisutna ukoliko je $VIF > 5$, odnosno $TOL < 0.2$. S obzirom na vrijednosti $VIF = 1,067$ i $TOL = 0,937$, može se zaključiti da multikolinearnost nije prisutna u promatranom modelu. Također, korelacijskom matricom (*Tablica 10.*) potvrđeno je nepostojanje multikolinearnosti (vrijednosti koeficijenata korelacije većih od 0,8 ukazuju na problem multikolinearnosti).

Tablica 10. Koeficijenti korelacije

Koeficijenti korelacije

Model		lnR	lnL ₁
Korelacija	lnR	0,251	0,409
	lnL ₁	0,409	0,251

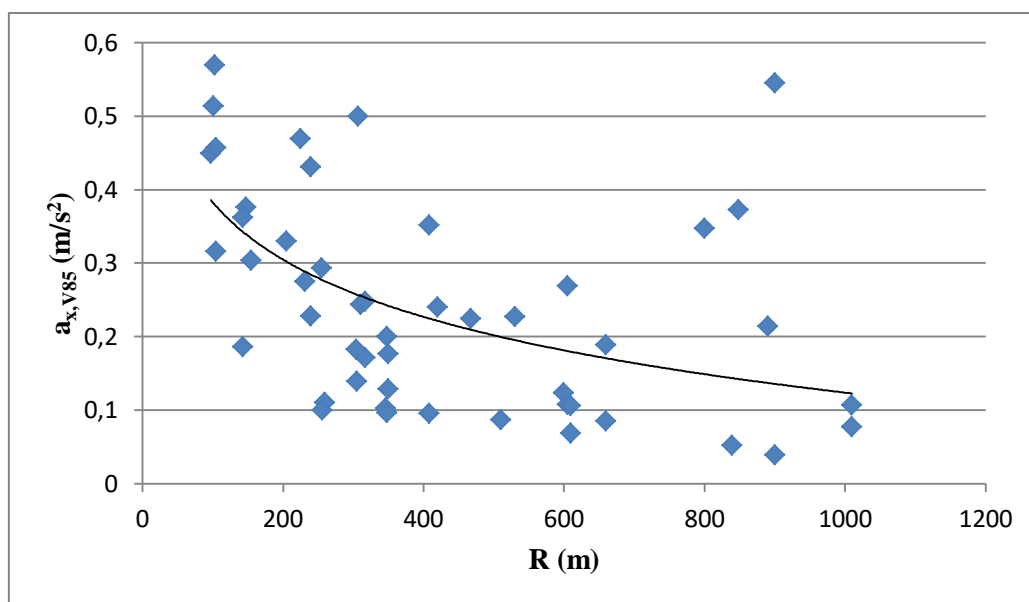
Statističkom analizom može se zaključiti kako je prikazani model intenziteta 50% ubrzanja $a_{x,50}$ (m/s^2) ovisan o dvije geometrijske karakteristike trase ceste, a to su polumjer promatrane horizontalne krivine R (m) te duljina prethodne prijelaznice L_1 (m). Kako je prethodno navedeno (poglavlje 3.2. Obilježja dionice), upotreba prijelaznica nije bila obavezna prilikom projektiranja promatrane dionice. Gledajući ostale geometrijske karakteristike trase ceste, podaci o duljinama prijelaznica su najrjeđi, te se dovodi u pitanje relevantnost duljine prijelaznice kao nezavisne varijable u modelu intenziteta 50% ubrzanja vozila. Svakako, provodeći regresijsku analizu dokazano je da polumjer horizontalne krivine ima dvostruko veći utjecaj na intenzitet ubrzanja vozila. Prema statističkim pokazateljima, promatrani model za analizu intenziteta 50% ubrzanja vozila je poprilično pouzdan.

6.4. Analiza ovisnosti intenziteta ubrzanja 85- postotnog vozača o geometrijskim karakteristikama trase

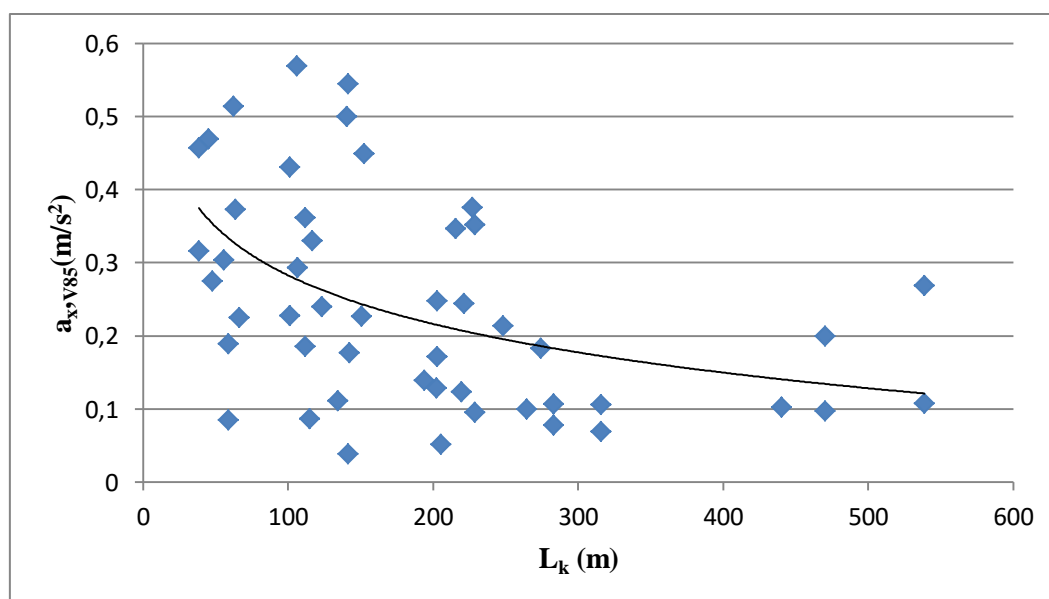
Ovo istraživanje također obuhvaća analizu zavisnosti 85-postotnog vozača. Stoga je potrebno na temelju očitanih najmanjih brzina u horizontalnim krivinama odrediti 85-postotnog vozača. Za operativnu se brzinu najčešće uzima 85 postotna vrijednost raspodjele brzina na određenom elementu ceste, odnosno brzina ispod koje vozi 85% vozača. Na osnovi definiranja operativne brzine, upravo je 85-postotni vozač odabran za analizu ubrzanja ovisno o geometrijskim karakteristikama trase ceste. Dakle, 85-postotni vozač predstavlja onog vozača koji ima 85 postotnu vrijednost raspodjele brzina na određenom elementu ceste, odnosno vozač koji vozi brzinom ispod koje vozi 85% ostalih vozača. Za potrebe određivanja 85- postotnog vozača potrebno je za svaki analizirani segment poredati vrijednosti brzina po veličini. Zatim, odredi se 85% vrijednost brzine, odnosno brzina ispod koje vozi 85% vozača i na temelju tog podatka pridružimo pripadajuće ubrzanje, kao što je prikazano u *Prilogu 6.* i *Prilogu 7.*

Budući da je više čimbenika koji imaju utjecaj na intenziteta ubrzanja 85- postotnog vozača, primjenjuje se višedimenzionalna linearna regresija. Na temelju kontinuirano snimljenih brzina na dionici vangradske dvotračne ceste, pomoću višestruke stupanjske regresije izrađen je model za predviđanje operativnih brzina u horizontalnim krivinama. Model je razvijen na temelju podataka snimljenih na istoj dionici kao za prethodne dvije analize.

Postupak analize ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,v85}$ (m/s^2) provodi se na isti način kao i prethodno. Crtanjem pojedinačnih dijagrama rasipanja u računalnom programu Excel i vizualnim pregledavanjem dijagrama, odabrane su nezavisne varijable koje najbolje opisuju analizu intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača. Primjenom višestruke stupanjske regresije dobiven je konačni model koji se sastoji od dvije nezavisne varijable, a to su: prirodni logaritam polumjera horizontalne krivine $\ln R$ (m) te prirodni logaritam duljine kružnog luka $\ln L_k$ (m). Za obje nezavisne varijable odabrana je logaritamske vrijednosti jer bolje opisuju zavisnost analize ubrzanja, nego što to čini linearna funkcija.



Slika 21. Ovisnost intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,v85}$ o polumjeru horizontalne krivine R (m)



Slika 22. Ovisnost intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,v85}$ o duljini kružnog luka L_k (m)

Ostale analizirane varijable su izbačene iz modela jer nisu pokazale statistički značajan utjecaj.

Analizirano je nekoliko modela s različitim kombinacijama nezavisnih varijabli, a najboljim se pokazao sljedeći:

$$a_{x,v85} = 1,047 - 0,085 \cdot \ln R - 0,061 \ln L_k \quad (7)$$

Na prvi pogled, prikazani model intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača izgleda obećavajući. Bez obzira na statističku analizu, logično je za očekivati da najveći utjecaj na intenzitet ubrzanja vozila ima polumjer horizontalne krivine te duljine okolnih pravac (što je pokazano i u prijašnjim istraživanjima), kao što je prikazano u ovom modelu. Iz navedenog modela može se zaključiti kako se intenzitet ubrzanja 85-postotnog vozača smanjuje s povećanjem polumjera horizontalne krivine i duljine kružnog luka.

Tablica 11. Procjene pokazatelja reprezentativnosti modela ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,v85}$ -sažeti prikaz

Model – sažeti prikaz^b

Model	R	R ²	\bar{R}^2	Standardna pogreška procjene
1	0,522 ^a	0,273	0,257	0,124
^a Nezavisne varijable: (konstanta), lnR, lnL _k				
^b Zavisna varijabla: $a_{x,v85}$				

U *Tablici 11.* prikazane su vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela: koeficijent korelacije (R), koeficijent determinacije (R²), korigirani koeficijent determinacije (\bar{R}^2) i standardna pogreška procjene.

Dobiveni model ima male vrijednosti koeficijenta determinacije (R² = 0.273), kao i korigiranog koeficijenta determinacije (\bar{R}^2 = 0.257), uz prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti ubrzanja vozila od 0,124 m/s² (standardna pogreška procjene), što upućuje na relativno veliko prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti ubrzanja. Iako, vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela upućuje na popriličnu nepouzdanost modela za predviđanje intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,v85}$ (m/s²) na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac, potrebno je detaljno ispitati kvalitetu i reprezentativnost dobivenog modela. Drugim riječima, potrebno je provesti testiranje hipoteza o modelu.

Postupci testiranja hipoteza o značajnosti nezavisnih varijabli u višestrukoj linearnoj regresiji mogu se svrstati u dvije grupe: test o značajnosti jedne nezavisne varijable modela (Studentov t-test) i test o značajnosti svih nezavisnih varijabli modela (Fisherov F-test).

Tablica 12. Tablica analize varijance (ANOVA) modela ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,V85}$ ANOVA^b

Model		Broj stupnjeva slobode	Zbroj kvadrata odstupanja	Srednje kvadratno odstupanje	Empirijski F- omjer	p- vrijednost
1	Regresijska funkcija (model)	2	0,344	0,172	12,121	<0,001 ^a
	Rezidualno odstupanje	46	0,652	0,014		
	Ukupno odstupanje	48	0,996			

^a Nezavisne varijable: (konstanta), lnR, lnL_k
^b Zavisna varijabla: $a_{x,V85}$

Izračunata vrijednost empirijske razine značajnosti ($p < 0.001$) ukazuju na to da se radi o statistički značajnom modelu, uz pouzdanost od 95%. Međutim, mala vrijednost F-omjera ukazuje na problem statističke značajnosti promatranog modela. Što bi značilo da promatrane nezavisne varijable nisu pouzdane za promatranje utjecaja istih na varijabilnost zavisne varijable. Na osnovi ovakvih rezultata, prikazani model se ne može smatrati pouzdanim.

Tablica 13. Regresijski koeficijenti modela ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,V85}$

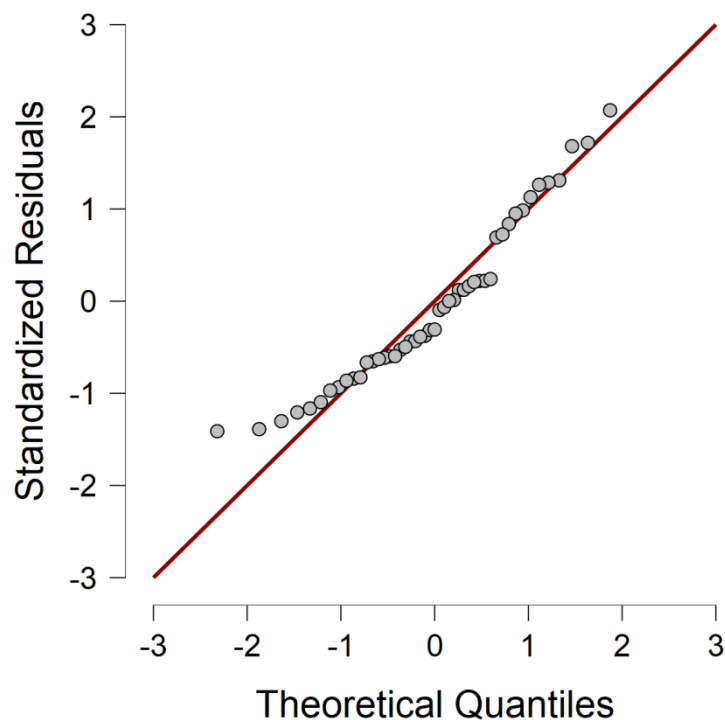
Model	Nestandardizirani koeficijenti		Standardizirani koeficijenti	t- omjer	p- vrijednost	95% interval povjerenja za B		Kolinearnost	
	B	Standardna pogreška	Beta			Donja granica	Gornja granica	TOL	VIF
Konstanta	1,047	0,164				0,719	1,375		
lnR	-0,085	0,028	-0,399	3,309	0,004	-0,141	-0,029	0,827	1,210
lnL _k	-0,061	0,027	-0,296	2,258	0,029	-0,115	0,007	0,827	1,210

U svrhu utvrđivanja relativnog utjecaja pojedinih nezavisnih varijabli na promatranu zavisnu varijablu, izračunati su i standardizirani regresijski parametri (*Beta* koeficijenti) prikazani u *Tablici 13*. S obzirom da nezavisne varijable mogu biti u različitim jedinicama, kao takve ne mogu analizirati pojedinačni utjecaj svake nezavisne varijable (stoga se vrši standardizacija). *Beta* vrijednost pokazuje koliki je pojedinačni utjecaj pojedine nezavisne varijable. Dakle, najveći utjecaj na promatrani model ima polumjer horizontalne krivine R (m), dok je utjecaj duljine kružnog luka na analizirani model manji. Testom značajnosti jedne nezavisne varijable modela (Studentov t-test) te intervalnom procjenom parcijalnih regresijskih

parametara uz razinu pouzdanosti od 95% dokazano je da su svi koeficijenti u izrazu modela ubrzanja statistički značajni uz pouzdanost od 95%.

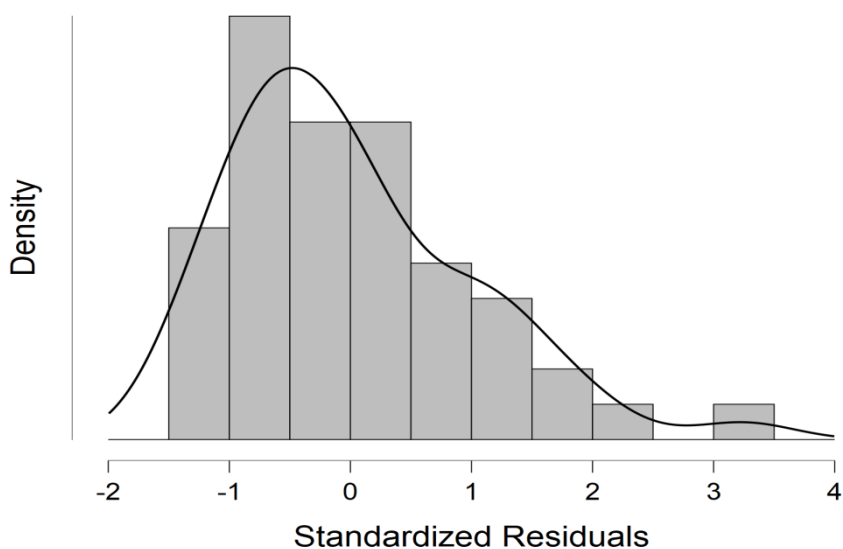
Prisutnost autokorelacije u podacima provjerava se Durbin-Watson testom. Za odabrani model intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača, pomoću računalnog programa JASP, dobivena vrijednost Durbin-Watson testa iznosi 1,546 što ukazuje da su slučajne pogreške međusobno nezavisne, odnosno u promatranom uzorku nije otkrivena autokorelacija.

Kao i prethodno, pretpostavka jedan (1.) provjerava se grafički, pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe i histograma frekvencija standardiziranih reziduala.



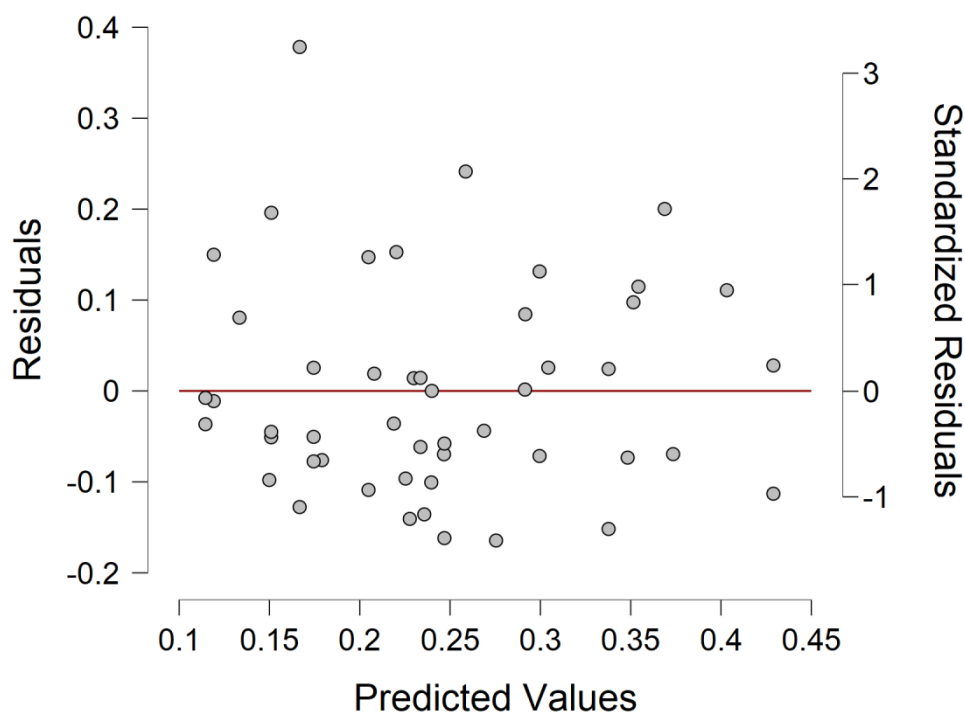
Slika 23. Papir vjerojatnosti normalne razdiobe

Na papiru vjerojatnosti normalne razdiobe može se uočiti da vrijednosti pogrešaka odstupaju od očekivanih za normalnu razdiobu (*Slika 23.*), dok histogram frekvencija standardiziranih reziduala čak približno poprima oblik normalne razdiobe. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala poprima oblik grafa normalne razdiobe $N(0, 1)$, međutim nije u potpunosti idealan (*Slika 24.*).



Slika 24. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala

Pretpostavka (2.) se također ispituje grafički, analizirajući rezidualna odstupanja u odnosu na prognoziranu vrijednost (nezavisnu varijablu).



Slika 25. Odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala

S obzirom da je svojstvo homoskedastičnosti zadovoljeno kada se graf sastoji od slučajnog niza točaka, neravnomjerno raspoređenih oko nule, promatrajući grafički prikaz na *Slici 25.*

uočeno je da svojstvo homoskedastičnosti nije zadovoljeno, što znači da intervali povjerenja koeficijenata regresije nisu apsolutno isti za sve vrijednosti zavisne varijable.

Međusobna koreliranost nezavisnih varijabli je provjerena faktorima inflacije varijance (VIF) i tolerancama (TOL) prikazanim u *Tablici 13.*, kao i koeficijentima korelacije prikazanim u korelacijskoj matrici (*Tablica 14.*). Svi faktori inflacije varijance manji su od 5, a tolerance veće od 0.2, što ukazuje na nepostojanje problema multikolinearnosti. Isto tako, koeficijenti korelacije pokazuju da ne postoji značajna korelacija između nezavisnih varijabli (vrijednosti koeficijenata korelacije su manje od 0,8).

Tablica 14. Koeficijenti korelacije

Koeficijenti korelacije

Model		lnR	lnL ₁
Korelacija	lnR	0,416	0,219
	lnL _k	0,219	0,416

Analizom prikazanog modela zaključeno je kako je model intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača ovisan o dvije geometrijske karakteristike, a to su polumjer horizontalne krivine R (m) te duljina kružnog luka L_k (m). S obzirom na zavisnost navedenih varijabli, logično je bilo za očekivati kako je dobiveni model jako pouzdan. Provedbom statističke analize pokazano je kako se model doista opisuje navedenim geometrijskim karakteristikama, ali zavisnost nije značajna, također, kao i kod prethodnih modela, osnovne pretpostavke modela linearne regresijske analize uglavnom nisu zadovoljene. Na temelju toga, svi prikazani modeli su zavisni o pojedinim varijablama (geometrijskim karakteristikama trase), ali pouzdanost modela za daljnju primjenu je upitna.

Pregledom dosadašnjih ispitivanja u svijetu, može se uočiti da su u nekim istraživanjima vršene pojedinačne analize za različite raspone polumjera ili duljina pravaca (za oštrije i blaže krivine te za kraće i dulje pravce). Ovakve analize daju nešto pouzdanije modele, međutim, pouzdanost još uvijek nije dovoljno relevantna. Na temelju ovakvih istraživanja, izvršene su analize za grupirane vrijednosti duljine pravaca.

7. ZAKLJUČAK

Modernizacijom i razvojem tehnologije postoji sve veći broj istraživanja i analiza u svijetu u svrhu poboljšanja sigurnosti prometa na cestama, kao i smanjenja potrošnje goriva te zagađenja okoliša. Pregledom dosadašnjih modela ubrzanja vozila može se uočiti da su noviji modeli pouzdaniji. Osnovni razlog toga jest primjena novijih alata, uređaja i računalnih programa koji imaju mogućnost snimanja veće količine podataka koji daju realniju sliku o stvarnom ponašanju vozača. Prvotne analize ubrzanja vozila zasnivale su se na točkasto snimljenim brzinama, dok se novije analize zasnivaju na kontinuiranim podacima, snimljenim pomoću GPS uređaja. Međutim, bez obzira na metode analize podataka, pregledom dosadašnjih modela zaključeno je kako radijus horizontalne krivine ima najveći utjecaj na ubrzanje vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac.

Regresijskom analizom prikupljenih podataka, model analize 85% ubrzanja vozila $a_{x,85}$ ovisan je o samo jednoj geometrijskoj karakteristici, a to je duljina kružnog luka L_k (m). Iz dobivenog modela za predviđanje 85% ubrzanja uočava se kako se intenzitet ubrzanja vozila smanjuje s povećanjem duljine kružnog luka. Veća duljina kružnog luka općenito znači i veće vrijednosti polumjera horizontalne krivine. Stoga, vozači u krivinama s manjim duljinama kružnog luka, a samim time i manjim vrijednostima polumjera horizontalne krivine, naglo smanjuju brzinu kako bi sigurno svladali horizontalnu krivinu. Nakon svladavanja krivine, vozači na dolazećim pravcima naglo povećavaju brzinu, što dovodi do većih vrijednosti intenziteta ubrzanja vozila. Vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela upućuju na nepouzdanost modela za predviđanje 85% ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac.

Analizirajući ovisnost intenziteta 50% ubrzanja vozila $a_{x,50}$ o geometrijskim karakteristikama promatrane trase može se zaključiti kako je prikazani model intenziteta 50% ubrzanja $a_{x,50}$ (m/s^2) ovisan o dvije geometrijske karakteristike trase ceste, a to su polumjer promatrane horizontalne krivine R (m) te duljina prethodne prijelaznice L_1 (m). Iako, upotreba prijelaznica nije bila obavezna prilikom projektiranja promatrane dionice, promatrajući ostale geometrijske karakteristike trase ceste, podaci o duljinama prijelaznica su najrjeđi, te se dovodi u pitanje relevantnost duljine prijelaznice kao nezavisne varijable u modelu intenziteta 50% ubrzanja vozila. Svakako, provodeći regresijsku analizu dokazano je da polumjer horizontalne krivine ima dvostruko veći utjecaj na intenzitet ubrzanja vozila. Prema statističkim pokazateljima, promatrani model za analizu intenziteta 50% ubrzanja vozila je

poprilično pouzdan za predviđanje 50% ubrzanja vozila na prijelazu iz horizontalne krivine na pravac

Analizom modela intenziteta ubrzanja 85-postotnog vozača $a_{x,v85}$ uočava se ovisnost ubrzanja o dvije geometrijske karakteristike, a to su polumjer horizontalne krivine R (m) te duljina kružnog luka L_k (m). Provedbom statističke analize pokazano je kako je model zavisan o navedenim geometrijskim karakteristikama trase, međutim, dobivena zavisnost nije značajna (mali koeficijent determinacije). Isto tako, kao i kod prethodnih modela, osnovne pretpostavke modela linearne regresijske analize uglavnom nisu zadovoljene.

Dok su u prethodnim modelima ubrzanja osnovne nezavisne varijable radijus horizontalne krivine te duljine okolnih pravaca, dobiveni modeli u ovom istraživanju nešto su drugačiji. Osim razlike u geometrijskim karakteristikama koje opisuju modele, također je vidljiva razlika i u vrijednostima procjene pokazatelja reprezentativnosti modela (koeficijent determinacije i korigirani koeficijent determinacije). Iako je metodologija prikupljanja podataka ista kao kod prethodnih istraživanja, male vrijednosti korigiranog koeficijenta determinacije upućuje na nepouzdanost dobivenih modela.

Tablica 15. Usporedba intenziteta ubrzanja prethodnih modela i 50% ubrzanja $a_{x,50}$ (m/s^2)

	UBRZANJE (m/s^2)	
	Prethodni modeli	Model 50% ubrzanja $a_{x,50}$
za $R < 200$ m	0,54	0,34
za $200 \text{ m} < R < 400$ m	0,43	0,23
za $400 \text{ m} < R < 800$ m	0,20	0,14
za $R > 800$ m	0	0,07

Uspoređujući vrijednosti ubrzanja prethodnih modela i modela 50% ubrzanja- izraz (6.) (najpouzdaniji model u ovom istraživanju), uočavaju se razlike u dobivenim vrijednostima (Tablica 15.). Naime, kod manjih polumjera horizontalnih krivina, razlika u vrijednosti ubrzanja je značajna, dok s povećanjem veličine polumjera horizontalne krivine razlika ubrzanja modela opada. Navedena usporedba upućuje na pitanje o pouzdanosti dobivenih modela u provedenom istraživanju. Na temelju toga, svi prikazani modeli su zavisni o pojedinim varijablama, odnosno geometrijskim karakteristikama trase, ali pouzdanost modela za daljnju primjenu je upitna.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/01)
- [2] Crisman, B., Marchionna, A., Perco, P., Robba, A., Roberti, R., Operating speed prediction model for two-lane rural roads, Proceedings of the 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, Illinois, 29. June - 1. July 2005.
- [3] Marchionna, A., Perco, P., Operating speed profile prediction model for two-lane rural roads in the Italian context, Advances in Transportation Studies - An International Journal, 2008; 14: 57-68.
- [4] Said, D., Abd El Halim, A. O., Hassan, Y., Methodology for driver behaviour data collection and analysis for integration in geometric design of highways, Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Geometric Design, June 2.-5. 2009; Valencia, Španjolska, 2009.
- [5] Lamm, R., Choueiri, E. M., Hayward, J. C., Tangent as an independent design element, Transportation Research Record, 1988; 1195: 123–131.
- [6] Collins, K.M. and Krammes, R.A. Preliminary validation of a speed-profile model for design consistency evaluation. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1523, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., 1996, pp. 11 - 21.
- [7] Fitzpatrick, K., et al., Speed prediction for two-lane rural highways, Report FHWA-RD-99-171, Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, Washington, DC, 2000.
- [8] Brojanje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2012.- sažetak, Hrvatske Ceste d.o.o., Zagreb, 2013.
- [9] Racelogic Ltd, PerformanceBox, URL:
<https://www.vboxmotorsport.co.uk/index.php/en/performancebox>
- [10] Lapaine M., Lapaine M., Tutić D. GPS za početnike, URL:

http://www.kartografija.hr/old_hkd/obrazovanje/prirucnici/gpsoc/gpsoc.htm

[11] Racelogic PerformanceBox Manual, URL:

https://www.vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/RLPB_Data.pdf

[12] Motorsport Components, URL:

<https://motorsportcomponents.ru/racelogic-telemetry/performance-meters-lap-timers/performancebox/>

[13] Cesta br. 8, Vrlika - Sinj, dionica Karakašica - Sinj - Glavni projekt, Poduzeće za ceste, Split, 1968.

[14] VBOX Test Suite, URL:

<https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/software-overview>

[15] Šnajder J. Linearan model regresije. Poglavlje 5., 2017., URL:

<https://www.fer.unizg.hr/download/repository/SU-Regresija.pdf>

[16] Benšić M., Šuvak N. Statistika - radni materijali; Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za matematiku Osijek, 21. prosinca 2010.

[17] Maljković B. Unapređenje kriterija konzistencije u horizontalnim krivinama vangradskih dvotračnih cesta uz primjenu bicikl-modela vozila te realnih parametara ponašanja vozača : disertacija [Disertacija]. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije; 2021

[18] Šošić I. Primijenjena statistika, Školska knjiga, d.d., Zagreb, 2004.

[19] JASP, URL:

<https://jasp-stats.org/>

[20] Šošić I. Primijenjena statistika- Tablice odabranih statističkih distribucija- C dodatak (764.-765. str), Školska knjiga, d.d., Zagreb, 2004.

PRILOZI

Prilog 1. Prikaz promatranih segmenata dionice

DRŽAVNA CESTA D1 (smjer Vrlika - Sinj)										
IZVEDENO STANJE - SNIMAK HRVATSKE CESTE - CADICS										
STACIONAŽA	OZNAKA ELEMENTA				DULJINA ELEMENTA (m)			Skretni kut (°)	Uzdužni nagib (%)	Poprečni nagib (%)
	PRAVAC	PRIJELAZN.	KRUŽNI LUK		PRAVAC	PRIJELAZN.	KRUŽNI LUK			
			oznaka	R (m)						
842,35			R5	111			113,46	69	-4,3	5,3
955,81		L5d				20			-4	
975,81	P6					67,96			-4	
1043,77			R6	800			215,42	15	-3,5	3,3
1259,19	P7					135,86			-3	3,3
1395,05		L7l				19,9			-3	4,1
1414,95			R7	97,5			152,24	101	-1 do 4,5	5,4
2850,25			R16	170			83,11	28	2,2	6,7
2933,36	P17					82,53			4,4	
3015,89			R17	350			142,94	23	4,3	2,7
3158,83	P18					336,65			4 do -0,4	
3495,48			R18	240			101,14	24	-0,4	2,5
3596,62	P19					123,68			0,7	
3720,3		L19				30			0,4	
3750,3			R19	103			105,96	67	0,7	3,8
3856,26	P20					30,27			1	
3886,53			R20	164			100,8	35	0,5	3,2
5034,429			R28	124			121,72	56	2,8	3,4
5156,149	P29					23,22			2	
5179,369			R29	467,14			66,05	8	3,5	4,2
5245,419	P30					152,51			1 do -1	
5397,929			R30	848,31			63,6	4	-1	1,9
5461,529	P31					77,74			-1	
5539,269			R31	260			134,36	30	-1 do 4,5	4
5673,629	P32					201,21			4	
5874,839			R32	600			219,36	21	0,5	1
8257,959			R41	177			92,56	49	1,7	4,3
8350,519		l41d				55,93			1,7	
8406,449	P42					65,05			1,3	
8471,499			R42	256			264,31	59	0,3	3,6
8735,809	P43					167,08			0,3	
8902,889			R43	1010,05			283,29	16	0,4	2,5
9186,179	P44					122,72			-0,3	
9308,899			R44	610			315,78	30	0,3 do -0,8	3,3
9624,679	P45					683,31			-0,5	
10307,99			R45	350			202,14	33	-0,7	2
10510,13	P46					37,91			-0,7	
10548,04			R46	839,51			205,2	14	-0,7	2,8
10753,24	P47					227,68			-0,5	
10980,92			R47	317,09			202,73	37	0 do -4	2
11183,65	P48					127,05			-5	
11310,7		L48l				35,47			-5,5	

11346,17			R48	148			227,09	102	-5,5	4,4
11573,26		L48d				35,47			-5,5	
11608,73	P49				60,42				-5,5	
11669,15		L49				30			-5,5	
12216,84			R51	360			235,94	38	2,5 do -2,5	2,7
12452,78	P52				97,31				-2,5	
12550,09			R52	890			248,18	16	-1,5	2,3
12798,27	P53				366,27				0	
13164,54			R53	605			538,61	51	0 do -4,3	2,7
13703,15	P54				135,04				-4,3	
13838,19		L54l				35			-4,3	
13873,19			R54	348			470,5	83	-4,3 do 2	2,9
14343,69		L54d				35			0,5	
14378,69	P55				470,33				-2,5	
14849,02		L55l				30,1			-2,5	
14879,12			R55	307			140,53	32	-2,5 do 2	3,6
15019,65		L55d				30,1			2	
15049,75	P56				89,6				2	
15139,35			R56	250			128,53	29	-0,5	3,5
15267,88	P57				20,88				-0,5	
15288,76		L57l				30			-0,5	
15318,76			R57	205			116,68	41	-0,5	3,7
15435,44		L57d				30			-2,5	
15465,44	P58				188,41				-2,5	
15653,85			R58	510			114,92	13	4	2,1
15768,77	P59				55,13				4	
15823,9		L59l				29,9			3	
15853,8			R59	311			221,15	46	3 do -0,3	3,1
16074,95		L59d				29,9			-0,5	
16104,85	P60				207,34				-0,5	
16312,19			R60	900			141,36	9	4	2
16453,55	P61				220,49				-4	
16674,04			R61	530			150,4	16	1	3,2
16824,44	P62				79,59				-2,5	
16904,03			R62	346			440,15	73	-4,7 do 4,5	3,2
17344,18	P63				204,85				2,5	
17549,03			R63	408			228,71	36	2,5	2,9
17777,74		L63				50,25			2,5	
17827,99	P64				143,08				2	
17971,07			R64	143			111,51	45	2	4,4
18082,58	P65				173,6				3,5	
18256,18			R65	304			274,04	52	3,5 do -2	2,4
18736,84			R67	290			116,14	23	-2,5	2,2
18852,98	P68				68,79				-3	
18921,77		L68l				33,33			-3	
18955,1			R68	225			45,08	20	-2	5,7
19000,18		L68d				30,67			-2,5	
19030,85	P69				209,96				-3	
19240,81			R69	305			194,06	36	-3	2,5
19434,87	P70				97,23				-0,5	
19532,1		L70l				30,59			-0,5	

19562,69			R70	255			106,3	31	-0,5	2,8
19668,99		L70d				30,59			1,7	
19699,58	P71				154,63				4,5	
19854,21			R71	420			123,33	17	4	1,3
20358,95			R75	230			39,91	12	2	3
20398,86		L75d				30			2	
20428,86	P76				47,35				0,5	
20476,21			R76	231,33			47,81	12	-1,5	1,6
20524,02	P77				211,48				-3	
20735,5			R77	659,46			58,5	5	-2,5	1,4
20794	P78				322,45				-2,5	
21116,45			R78	155			55,4	20	-0,8	1,5
23439,72			R95	100			110,28	75	0	
23550		L95d				20			0	
23570	P96				14,79				0	
23584,79		L96l				20			0	
23604,79			R96	100,76			62,03	47	0	4,2
23666,82		L96d				20			0	
23686,82	P97				65,6				0	
23752,42	P97'				96,9				1,5	
23849,32			R97	105			38,37	21	1,5	3,1
23887,69	P98				137,7				1,5	

	Δt [s]		13,8	4,7	3	16,1	11,9	15,8	4	8,8	3	10,5	10,1	7	8,1	15,5	3,5	4,9	4,2	5,1	8,2
	ubrzanje [m/s ²]		0,322	0,112	0,037	0,086	0,054	0,065	0,208	0,496	0,194	0,074	0,107	0,103	0,082	0,081	0,175	0,074	0,146	0,060	0,180
R63	V _{P64} [km/h]		69,3	81,9	81,5	67,2	81,3	60,9	100,9	117,1	77	83,6	83	86,3	81,6	65,3	76,9	72,6	78,7	84,5	93,9
	V _{K63} [km/h]		68,3	73,4	76	64,7	73,5	56,8	89,7	92	75,2	76,1	77,7	77,5	79,1	55,1	73	71,3	73,5	77,5	85,4
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]		1	8,5	5,5	2,5	7,8	4,1	11,2	25,1	1,8	7,5	5,3	8,8	2,5	10,2	3,9	1,3	5,2	7	8,5
	Δt [s]		2,6	9,5	8,4	7,7	8,9	13,7	6,7	9	7,6	12,1	8,1	12,1	7,2	15,8	5,6	2,3	8,8	11,7	10,4
	ubrzanje [m/s ²]		0,107	0,249	0,182	0,090	0,243	0,083	0,464	0,775	0,066	0,172	0,182	0,202	0,096	0,179	0,193	0,157	0,164	0,166	0,227
R64	V _{P64} [km/h]		68	77,8	79,4	70,5	66,9	62,2	98,9	107,8	79,1	73,2	77,6	83	77,4	65,4	77,9	74,2	75,9	80,8	87,8
	V _{K64} [km/h]		59,4	68,5	70,8	62,7	64,2	60,3	87,9	75,2	65,1	67,3	74,7	76,2	67,4	51,8	71,7	62	66,9	75,7	78,4
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]		8,6	9,3	8,6	7,8	2,7	1,9	11	32,6	14	5,9	2,9	6,8	10	13,6	6,2	12,2	9	5,1	9,4
	Δt [s]		11,3	11,7	8,1	11	6,6	12,7	6,3	10,8	10,3	12,5	5	9,5	10,1	14,6	7,8	12	8,4	7,6	10,2
	ubrzanje [m/s ²]		0,211	0,221	0,295	0,197	0,114	0,042	0,485	0,838	0,378	0,131	0,161	0,199	0,275	0,259	0,221	0,282	0,298	0,186	0,256
R68	V _{P69} [km/h]		76,7	83,5	79,9	75,9	78,6	67,6	103,1	119,2	85,7	84,4	82,9	78,7	85,8	72,9	80,4	79,5	83,1	93,5	94
	V _{K68} [km/h]		65,4	74,2	74,5	69,9	70,4	65,4	90,3	95,6	76,9	81,1	79,2	77	77,6	65,9	77,5	75,9	80,1	83,2	87,5
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]		11,3	9,3	5,4	6	8,2	2,2	12,8	23,6	8,8	3,3	3,7	1,7	8,2	7	2,9	3,6	3	10,3	6,5
	Δt [s]		9,3	7	8,2	9,1	9,6	5,3	5	6,3	5,9	9,2	6,1	7	8,4	7,9	3,7	7,8	6,6	6,1	5,4
	ubrzanje [m/s ²]		0,338	0,369	0,183	0,183	0,237	0,115	0,711	1,041	0,414	0,100	0,168	0,067	0,271	0,246	0,218	0,128	0,126	0,469	0,334
R70	V _{P71} [km/h]		74,7	79,7	87,2	70,7	79,1	70,2	106,7	116,3	85,6	79,4	85,9	74,6	80,2	67,5	86	81,6	84,1	95,8	94
	V _{K70} [km/h]		70,1	74,2	80,9	68,4	76,8	67,9	96,6	89,8	75,9	78	79,1	67,5	78,1	62,3	76,8	76,4	78,5	88,3	92,3
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]		4,6	5,5	6,3	2,3	2,3	2,3	10,1	26,5	9,7	1,4	6,8	7,1	2,1	5,2	9,2	5,2	5,6	7,5	1,7
	Δt [s]		6,7	7	8,8	11,5	9,2	4,9	4,7	9,2	4,3	4,8	7,8	3,5	7,5	10,1	8,5	8,1	7	7,1	4,8
	ubrzanje [m/s ²]		0,191	0,218	0,199	0,056	0,069	0,130	0,597	0,800	0,627	0,081	0,242	0,563	0,078	0,143	0,301	0,178	0,222	0,293	0,098
R76	V _{P77} [km/h]		73	82,6	84	68,1	71,4	94,5	97,1	124,3	82,7	86,8	84,9	74,8	91,5	61,7	82,4	74,8	88	95,4	Nepravilni podaci
	V _{K76} [km/h]		58,3	71,8	72,7	61,4	59	65,3	84,4	103,8	65,8	75,4	75,4	64,3	71,2	57,1	67,2	64,1	72,8	82,4	
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]		14,7	10,8	11,3	6,7	12,4	29,2	12,7	20,5	16,9	11,4	9,5	10,5	20,3	4,6	15,2	10,7	15,2	13	
	Δt [s]		7,2	9,4	9,9	9,4	13,8	11,7	5,7	5,4	9,6	11,5	9,6	6,4	11,2	8,4	9,3	11,6	10,4	10,2	
	ubrzanje [m/s ²]		0,567	0,319	0,317	0,198	0,250	0,693	0,619	1,055	0,489	0,275	0,275	0,456	0,503	0,152	0,454	0,256	0,406	0,354	
R77	V _{P78} [km/h]		76,2	81,4	86,9	70	74,1	90,4	99,2	131,4	85,1	90,9	86,6	72	91	63,5	82,3	76,3	95,6	97,4	82,2
	V _{K77} [km/h]		70,8	78,2	82,9	63,1	71	89,3	93,2	105,5	82,4	87	82,4	68,9	89,8	57,1	80,8	73,5	89,2	95,7	75,7
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]		5,4	3,2	4	6,9	3,1	1,1	6	25,9	2,7	3,9	4,2	3,1	1,2	6,4	1,5	2,8	6,4	1,7	6,5
	Δt [s]		13,8	8,3	9,4	11,2	7,2	4,1	2,1	7	3,4	7,5	8,8	4,9	3,9	8,2	5,2	9,8	8,1	3,6	5,5
	ubrzanje [m/s ²]		0,109	0,107	0,118	0,171	0,120	0,075	0,794	1,028	0,221	0,144	0,133	0,176	0,085	0,217	0,080	0,079	0,219	0,131	0,328
R96	V _{P97} [km/h]			73,8	74,9	64,4		74,4	68	104,1	75,7	72,3	76,2	79,7	78	73	76,4	74,3	72,4	79,7	79,8
	V _{K96} [km/h]			59,8	64,3	54,3		66,7	54,8	77,5	60	60,8	62,1	61,5	63,2	52,9	61,5	63,3	61,7	67,8	65
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]			14	10,6	10,1		7,7	13,2	26,6	15,7	11,5	14,1	18,2	14,8	20,1	14,9	11	10,7	11,9	14,8
	Δt [s]			8,9	7,3	10,5		8,6	11,6	7,3	9,1	9,2	7,9	6,9	9	11,5	8,8	10,4	10,6	7	8
	ubrzanje [m/s ²]			0,437	0,403	0,267		0,249	0,316	1,012	0,479	0,347	0,496	0,733	0,457	0,486	0,470	0,294	0,280	0,472	0,514
R97	V _{P98} [km/h]			73,6	80,6	64,4		74,2	65,2	100,9	76,6	73,5	75,1	69,2	77,6	67,2	76,7	75,8	76,4	81,1	75,1
	V _{K97} [km/h]			64,5	71,4	58,2		69,2	63,2	87,2	70,8	67,7	69,7	65,7	70	56,7	69,5	69,9	67,7	74,3	67,5
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]			9,1	9,2	6,2		5	2	13,7	5,8	5,8	5,4	3,5	7,6	10,5	7,2	5,9	8,7	6,8	7,6
	Δt [s]			6,5	5,9	7,5		4,7	5,6	4,1	5,1	6,4	6,2	3,9	5,5	7,2	3,5	6,3	5	4,6	5,6
	ubrzanje [m/s ²]			0,389	0,433	0,230		0,296	0,099	0,928	0,316	0,252	0,242	0,249	0,384	0,405	0,571	0,260	0,483	0,411	0,377

Prilog 3. Vrijednosti ubrzanja a_x (m/s²) za smjer Sinj-Vrlika

SINJ-VRLIKA																										
Krivina		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20					
R7	V _{P6} [km/h]	85,6	71,6	68,7	75,6	68,4	77,7	83	96,3	72,4	80,2	74	68,3	93,2	77,8	69,6	78,6	76,8	81,9	87,7	82,3					
	V _{K7} [km/h]	66,7	58,1	54,9	61,9	57,2	59,4	56,9	69,7	58,9	65,8	56,9	55,4	59,2	58	53,9	60,6	58,4	61	65,7	69,6					
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	18,9	13,5	13,8	13,7	11,2	18,3	26,1	26,6	13,5	14,4	17,1	12,9	34	19,8	15,7	18	18,4	20,9	22	12,7					
	Δt [s]	12,3	11,3	12,7	12,2	8,3	12,5	12,7	11,7	9,1	8,9	11,8	12	17,9	17	14,6	11,9	14,8	11,9	14,9	9,4					
	ubrzanje [m/s ²]	0,427	0,332	0,302	0,312	0,375	0,407	0,571	0,632	0,412	0,449	0,403	0,299	0,528	0,324	0,299	0,420	0,345	0,488	0,410	0,375					
R18	V _{P17} [km/h]	89,7	76,7	67,1	83,8	70,7	76,8	85,8	94,9	123,6	87,5	83	82,9	94,5	74,8	72,7	78,6	82,4	79,2	90,3	85,9					
	V _{K18} [km/h]	76,5	65,8	63,1	75,3	64	70,9	77,8	87,2	93,3	76,4	76,1	72,6	75,7	71,5	62,6	73,3	75,7	73,9	74	75,5					
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	13,2	10,9	4	8,5	6,7	5,9	8	7,7	30,3	11,1	6,9	10,3	18,8	3,3	10,1	5,3	6,7	5,3	16,3	10,4					
	Δt [s]	8,5	12	7,5	12,4	15,2	10,2	10,9	3,5	8,8	12,1	8,7	9,9	12,8	4,6	6,4	6,5	8,5	4	12,8	7,9					
	ubrzanje [m/s ²]	0,431	0,252	0,148	0,190	0,122	0,161	0,204	0,611	0,956	0,255	0,220	0,289	0,408	0,199	0,438	0,226	0,219	0,368	0,354	0,366					
R19	V _{P18} [km/h]	77,6	68,7	65,3	73	65,6	72,1	76,6	84,9	103,6	77,6	68,9	71,6	80,4	71,6	69,5	73,2	74,9	73,4	73,5	75,9					
	V _{K19} [km/h]	64,1	55,6	53,4	57,9	54	56,5	61,8	71,2	78,7	65,1	58,7	54,3	58,9	55,8	56,4	60,5	60,5	57,9	62,5	65,6					
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	13,5	13,1	11,9	15,1	11,6	15,6	14,8	13,7	24,9	12,5	10,2	17,3	21,5	15,8	13,1	12,7	14,4	15,5	11	10,3					
	Δt [s]	7,2	7	10,5	8,8	8,8	8,9	11,3	4,8	5,9	6,1	5,5	11,9	8	7,9	7,5	6,6	8,3	8,6	7,6	6,5					
	ubrzanje [m/s ²]	0,521	0,520	0,315	0,477	0,366	0,487	0,364	0,793	1,172	0,569	0,515	0,404	0,747	0,556	0,485	0,535	0,482	0,501	0,402	0,440					
R30	V _{P29} [km/h]	94,1	85,7	81,9	71,7	80,1	92,1	113,2	88,4	86,6	103,7	81,1	83,2	91,3	103,4	87,6										
	V _{K30} [km/h]	92,8		84,6	79,2	71,2	76,2										91	112,3	79,9	85	101,5	78,4	82	90,8	99,1	86,3
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	1,3		1,1	2,7	0,5	3,9										1,1	0,9	8,5	1,6	2,2	2,7	1,2	0,5	4,3	1,3
	Δt [s]	1,9		3,3	3,0	2,6	6,5										5,1	1,9	7,4	3,4	2,6	1,9	3,9	3,5	3,2	3,1
	ubrzanje [m/s ²]	0,190		0,000	0,093	0,250	0,053										0,167	0,060	0,000	0,132	0,000	0,319	0,131	0,235	0,000	0,395
R32	V _{P31} [km/h]	93	76,9	86,9	80,5	72,1	79,5	93,2	100,5	119,5	88	87,7	85,2	94,4	80,3	79,1	84,7	82,4	89	102,5	92,3					
	V _{K32} [km/h]	84	74,2	84,3	79,1	70,9	78,1	91,5	98,1	109,6	83,4	80	82,2	89,6	76,8	68,7	75,6	80,6	86	95,8	86,7					
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	9	2,7	2,6	1,4	1,2	1,4	1,7	2,4	9,9	4,6	7,7	3	4,8	3,5	10,4	9,1	1,8	3	6,7	5,6					
	Δt [s]	5,8	4	6	2,8	9,5	6,4	3,8	3,2	3,5	6	11,7	5	5,1	11,2	5,3	5,7	4,2	6,8	4,5	9,2					
	ubrzanje [m/s ²]	0,431	0,188	0,120	0,139	0,035	0,061	0,124	0,208	0,786	0,213	0,183	0,167	0,261	0,087	0,545	0,443	0,119	0,123	0,414	0,169					
R43	V _{P42} [km/h]	92,8	86,2	83,2	95,3	82,2	85,6	100,9	115,4	112,7	99,2	91,1	86,8	102	86	74,7	85,7	91,5	98,7	94,1	102,1					
	V _{K43} [km/h]	92,3	79	82,6	92,9	77,7	82,3	100,3	112	111	93,8	87,1	85,3	95,3	85,3	67,2	85	88,8	96,2	92,2	99,6					
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	0,5	7,2	0,6	2,4	4,5	3,3	0,6	3,4	1,7	5,4	4	1,5	6,7	0,7	7,5	0,7	2,7	2,5	1,9	2,5					
	Δt [s]	5,4	11,2	2,7	5,1	11,6	9,7	3,9	3,2	1,6	5,2	10,4	5,4	7,2	2,9	7,3	5	4,1	5,7	5,2	6,5					
	ubrzanje [m/s ²]	0,026	0,179	0,062	0,131	0,108	0,095	0,043	0,295	0,295	0,288	0,107	0,077	0,258	0,067	0,285	0,039	0,183	0,122	0,101	0,107					
R44	V _{P43} [km/h]	91,9	85,7	86,9	94,5	80,8	88,6	98,1	112,6	124,5	97,9	90,1	88,9	98,5	86,2	77,1	95,5	93,6	99	96	101,8					
	V _{K44} [km/h]	87,6	82,2	83,3	92,9	74,6	82,7	97,4	101,6	97,8	95,2	85,9	86,6	90,3	82,3	68,1	87,1	90,6	97,1	92,5	93,1					
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	4,3	3,5	3,6	1,6	6,2	5,9	0,7	11	26,7	2,7	4,2	2,3	8,2	3,9	9	8,4	3	1,9	3,5	8,7					
	Δt [s]	5,7	7	10	6,6	11,6	6,8	8,7	6,1	10,1	3	7,6	4	10,8	7	14,3	9,1	4,4	5	4,7	10,5					
	ubrzanje [m/s ²]	0,210	0,139	0,100	0,067	0,148	0,241	0,022	0,501	0,734	0,250	0,154	0,160	0,211	0,155	0,175	0,256	0,189	0,106	0,207	0,230					
R45	V _{P44} [km/h]	98,5	87,1	90,6	102,1	81,2	88,8	100,2	125,4	138,2	97,5	92	93,3	111,5	85,9	87,3	90,8	92,6	96	97,8	104,1					
	V _{K45} [km/h]	94,7	79,8	75,6	81,2	67,9	76,1	95,3	98,5	103,5	82,7	81,2	85,6	93,9	76	62,6	81,1	85	88,6	87,3	90,4					
	$\Delta V = V_P - V_K$ [km/h]	3,8	7,3	15	20,9	13,3	12,7	4,9	26,9	34,7	14,8	10,8	7,7	17,6	9,9	24,7	9,7	7,6	7,4	10,5	13,7					

Prilog 4. 85% i 50% vrijednosti intenziteta ubrzanja (m/s²) za smjer Vrlika-Sinj

Ubrzanje [m/s ²]																										
	R6	R17	R18	R29	R31	R42	R43	R44	R46	R47	R52	R53	R54	R57	R59	R60	R62	R63	R64	R68	R70	R76	R77	R96	R97	
	0,797	0,700	0,880	0,970	0,600	0,655	0,399	0,705	0,808	1,115	0,127	0,864	0,830	0,938	0,817	0,804	0,496	0,775	0,838	1,041	0,800	1,055	1,028	1,012	0,928	
	0,658	0,497	0,417	0,631	0,413	0,439	0,352	0,689	0,295	0,476	0,887	0,302	0,258	0,509	0,726	0,557	0,322	0,464	0,485	0,711	0,627	0,693	0,794	0,733	0,571	
	0,383	0,360	0,354	0,525	0,394	0,338	0,343	0,499	0,238	0,231	0,863	0,271	0,254	0,445	0,409	0,345	0,208	0,249	0,378	0,469	0,597	0,619	0,328	0,514	0,483	
	0,347	0,334	0,341	0,483	0,285	0,315	0,266	0,453	0,197	0,203	0,512	0,254	0,253	0,402	0,300	0,328	0,194	0,243	0,298	0,414	0,563	0,567	0,221	0,496	0,433	
	0,258	0,330	0,336	0,439	0,241	0,280	0,216	0,351	0,190	0,177	0,378	0,223	0,245	0,389	0,284	0,305	0,180	0,227	0,295	0,369	0,301	0,503	0,219	0,486	0,411	
	0,253	0,290	0,251	0,422	0,222	0,275	0,175	0,264	0,179	0,172	0,372	0,199	0,240	0,356	0,283	0,244	0,175	0,202	0,282	0,338	0,293	0,489	0,217	0,479	0,405	
	0,217	0,281	0,244	0,377	0,201	0,257	0,164	0,260	0,175	0,148	0,344	0,188	0,229	0,345	0,280	0,173	0,146	0,193	0,275	0,334	0,242	0,456	0,176	0,472	0,389	
	0,169	0,234	0,241	0,368	0,201	0,256	0,139	0,242	0,172	0,146	0,296	0,179	0,225	0,330	0,247	0,167	0,112	0,182	0,259	0,271	0,222	0,454	0,171	0,470	0,384	
	0,132	0,219	0,228	0,350	0,196	0,255	0,139	0,188	0,164	0,110	0,223	0,176	0,217	0,306	0,244	0,159	0,107	0,182	0,256	0,246	0,218	0,406	0,144	0,457	0,377	
	0,123	0,218	0,221	0,337	0,176	0,253	0,134	0,170	0,160	0,104	0,222	0,156	0,197	0,297	0,192	0,146	0,103	0,179	0,221	0,237	0,199	0,354	0,133	0,437	0,316	
	0,109	0,212	0,198	0,324	0,168	0,222	0,130	0,161	0,148	0,102	0,214	0,112	0,167	0,272	0,177	0,139	0,086	0,172	0,221	0,218	0,191	0,319	0,131	0,403	0,296	
	0,104	0,192	0,149	0,296	0,158	0,219	0,104	0,141	0,141	0,100	0,189	0,108	0,152	0,255	0,176	0,135	0,082	0,166	0,211	0,183	0,178	0,317	0,120	0,347	0,260	
	0,099	0,180	0,117	0,281	0,116	0,215	0,094	0,141	0,139	0,080	0,175	0,106	0,140	0,247	0,171	0,132	0,081	0,164	0,199	0,183	0,143	0,275	0,118	0,316	0,252	
	0,075	0,177	0,116	0,242	0,113	0,211	0,078	0,126	0,139	0,075	0,159	0,085	0,129	0,242	0,168	0,113	0,074	0,157	0,197	0,168	0,130	0,275	0,109	0,294	0,249	
	0,000	0,177	0,110	0,236	0,111	0,181	0,077	0,123	0,129	0,071	0,146	0,077	0,108	0,224	0,150	0,091	0,074	0,107	0,186	0,128	0,098	0,256	0,107	0,280	0,242	
	0,000	0,164	0,109	0,225	0,100	0,153	0,065	0,118	0,088	0,060	0,101	0,057	0,102	0,224	0,138	0,084	0,065	0,096	0,161	0,126	0,081	0,250	0,085	0,267	0,230	
		0,160	0,086	0,219	0,093	0,151	0,052	0,118	0,086	0,057	0,087	0,051	0,092	0,212	0,134	0,039	0,060	0,090	0,131	0,115	0,078	0,198	0,080	0,249	0,099	
		0,154	0,077	0,191	0,072	0,100	0,048	0,108	0,079	0,054	0,059	0,048	0,088	0,205	0,103		0,054	0,083	0,114	0,100	0,069	0,152	0,079			
		0,145	0,000	0,146	0,068	0,097	0,040	0,069	0,052	0,034	0,051	0,019	0,077	0,199	0,093		0,037	0,066	0,042	0,067	0,056		0,075			
		0,122	0,000	0,134	0,036	0,084		0,049	0,030		0,039		0,068	0,140												
a₈₅	0,383	0,334	0,341	0,483	0,285	0,315	0,266	0,453	0,197	0,203	0,512	0,254	0,253	0,402	0,300	0,328	0,194	0,243	0,298	0,414	0,563	0,567	0,221	0,496	0,433	
a₅₀	0,150	0,215	0,210	0,331	0,172	0,237	0,132	0,165	0,154	0,103	0,218	0,134	0,182	0,285	0,185	0,159	0,095	0,176	0,221	0,227	0,195	0,380	0,132	0,457	0,377	

Prilog 5. 85% i 50% vrijednosti intenziteta ubrzanja (m/s^2) za smjer Sinj-Vrlika

Ubrzanje [m/s^2]																								
	R7	R18	R19	R30	R32	R43	R44	R45	R47	R48	R53	R54	R55	R58	R60	R61	R63	R64	R65	R69	R71	R77	R78	R97
	0,632	0,956	1,172	0,395	0,786	0,295	0,734	0,803	0,966	0,704	0,658	0,452	0,700	0,833	1,230	1,508	0,722	0,958	1,415	0,709	1,431	0,830	0,858	1,348
	0,571	0,611	0,793	0,373	0,545	0,295	0,501	0,762	0,901	0,376	0,559	0,294	0,372	0,711	0,765	0,925	0,466	0,722	0,844	0,598	1,373	0,329	0,690	0,691
	0,528	0,438	0,747	0,319	0,443	0,288	0,256	0,426	0,485	0,331	0,483	0,198	0,328	0,528	0,631	0,451	0,426	0,588	0,573	0,454	0,742	0,296	0,638	0,648
	0,488	0,431	0,569	0,250	0,431	0,285	0,250	0,379	0,449	0,330	0,383	0,151	0,325	0,505	0,581	0,383	0,381	0,561	0,403	0,296	0,718	0,233	0,617	0,530
	0,449	0,408	0,556	0,235	0,414	0,258	0,241	0,324	0,406	0,311	0,311	0,141	0,282	0,291	0,545	0,378	0,274	0,525	0,367	0,274	0,549	0,189	0,462	0,527
	0,427	0,368	0,535	0,190	0,261	0,183	0,230	0,292	0,373	0,299	0,296	0,141	0,252	0,244	0,492	0,352	0,242	0,518	0,340	0,213	0,500	0,163	0,433	0,505
	0,420	0,366	0,521	0,167	0,213	0,179	0,211	0,287	0,368	0,292	0,275	0,133	0,229	0,228	0,425	0,348	0,191	0,513	0,338	0,209	0,464	0,160	0,397	0,499
	0,412	0,354	0,520	0,132	0,208	0,131	0,210	0,271	0,357	0,291	0,269	0,127	0,201	0,221	0,422	0,312	0,189	0,460	0,304	0,201	0,422	0,143	0,385	0,478
	0,410	0,289	0,515	0,131	0,188	0,122	0,207	0,237	0,349	0,272	0,268	0,126	0,193	0,209	0,390	0,292	0,170	0,402	0,296	0,191	0,328	0,128	0,335	0,457
	0,407	0,255	0,501	0,116	0,183	0,108	0,189	0,225	0,317	0,262	0,250	0,124	0,187	0,204	0,353	0,278	0,168	0,377	0,293	0,169	0,324	0,114	0,324	0,368
	0,403	0,252	0,487	0,093	0,169	0,107	0,175	0,205	0,317	0,178	0,247	0,122	0,156	0,203	0,310	0,267	0,132	0,362	0,274	0,166	0,323	0,106	0,304	0,357
	0,375	0,226	0,485	0,085	0,167	0,107	0,160	0,173	0,296	0,171	0,215	0,118	0,156	0,190	0,284	0,254	0,122	0,361	0,219	0,155	0,304	0,103	0,284	0,333
	0,375	0,220	0,482	0,060	0,139	0,101	0,155	0,172	0,278	0,154	0,214	0,111	0,147	0,159	0,272	0,227	0,079	0,340	0,211	0,151	0,287	0,097	0,259	0,328
	0,345	0,219	0,477	0,053	0,124	0,095	0,154	0,170	0,274	0,149	0,210	0,110	0,146	0,129	0,236	0,218	0,077	0,308	0,208	0,139	0,285	0,091	0,257	0,319
	0,332	0,204	0,440	0,040	0,123	0,077	0,148	0,166	0,273	0,116	0,194	0,097	0,101	0,125	0,213	0,212	0,066	0,299	0,198	0,075	0,240	0,054	0,257	0,289
	0,324	0,199	0,404	0,000	0,120	0,067	0,139	0,160	0,269	0,109	0,188	0,093	0,091	0,096	0,194	0,206	0,061	0,266	0,183	0,066	0,229	0,043	0,253	0,261
	0,312	0,190	0,402	0,000	0,119	0,062	0,106	0,142	0,248	0,101	0,168	0,092	0,081	0,091	0,194	0,203	0,051	0,249	0,149	0,048	0,210	0,035	0,245	0,259
	0,302	0,161	0,366	0,000	0,087	0,043	0,100	0,141	0,222	0,092	0,164	0,078	0,066	0,087	0,185	0,175	0,044	0,171	0,111	0,040	0,184	0,028	0,230	0,223
	0,299	0,148	0,364	0,000	0,061	0,039	0,067	0,130	0,209	0,087	0,153	0,075	0,058	0,071	0,147	0,175	0,044	0,139	0,072	0,024	0,149	0,019	0,180	0,182
	0,299	0,122	0,315	0,000	0,035	0,026	0,022	0,129	0,176	0,082	0,146	0,043	0,030	0,056		0,093	0,034	0,097	0,069	0,023	0,114			
a₈₅	0,488	0,431	0,569	0,250	0,431	0,285	0,250	0,379	0,449	0,330	0,383	0,151	0,325	0,505	0,545	0,383	0,381	0,561	0,403	0,296	0,518	0,189	0,462	0,527
a₅₀	0,405	0,254	0,494	0,105	0,176	0,107	0,182	0,215	0,317	0,220	0,249	0,123	0,171	0,204	0,353	0,273	0,150	0,369	0,284	0,167	0,323	0,114	0,324	0,368

Prilog 6. Vrijednosti 85- postotnog vozača za smjer Vrljka-Sinj

Brzina [km/h]																									
	R6	R17	R18	R29	R31	R42	R43	R44	R46	R47	R52	R53	R54	R57	R59	R60	R62	R63	R64	R68	R70	R76	R77	R96	R97
	118,8	91,2	86,8	99,2	98,7	113,9	103,0	100,9	118,5	87,3	99,9	102,2	98,9	90,5	95,6	103,3	99,0	92	87,9	95,6	96,6	103,8	105,5	77,5	87,2
	99,9	82,2	84,7	88,1	93,2	87,3	99,6	100,8	100,6	84,6	98,2	93,8	96,2	90,2	94,0	97,8	98,0	89,7	78,4	90,3	92,3	84,4	95,7	67,8	74,3
	96,7	80,9	80,1	74,8	92,6	85,6	96,4	94,7	97,0	82,4	97,7	91,1	93,5	83,2	87,5	89,3	87,6	85,4	76,2	87,5	89,8	82,4	93,2	66,7	71,4
	95,1	80,0	78,7	73,9	91,4	85,5	94,9	94,1	94,0	81,3	93,1	89,5	86,4	79,8	86,2	82,9	82,8	79,1	75,7	83,2	88,3	75,4	89,8	65	70,8
	92,5	77,7	78,5	73,8	85,0	84,7	93,2	93,1	93,6	81	92	89,3	80,5	76,8	85,1	82,1	82,6	77,7	75,2	81,1	80,9	75,4	89,3	64,3	70
	91,5	76,2	77,9	73,4	83,8	84,2	92,5	92,6	92,3	80,7	88,5	89,1	80,1	76,7	82,1	81,6	78,6	77,5	74,7	80,1	79,1	72,8	89,2	63,3	69,9
	90,6	74,3	77,4	72,9	83,0	82,4	89,6	91,2	91,7	79,5	87,4	87,5	79	75,3	81,5	81,5	77,7	77,5	71,7	79,2	78,5	72,7	87	63,2	69,7
	90,2	74,3	76,8	72,5	81,3	82,2	89,4	91,1	90	76,3	86,5	84,2	78,2	75,3	81	81,3	77,5	76,1	70,8	77,6	78,1	71,8	82,9	62,1	69,5
	88,6	74,0	76,8	72,3	80,7	81,2	87,7	88,1	89,4	74,9	85,8	83,1	77,0	75,2	78,3	80	76,9	76,0	68,5	77,5	78	71,2	82,4	61,7	69,2
	85,0	73,0	76,0	72,1	78,4	79,8	87,4	88,1	88,0	74,8	85,6	82,8	76,0	75	77,8	79,4	75,8	75,2	67,4	77	76,8	67,2	82,4	61,5	67,7
	82,9	71,2	72,4	71,5	78,1	79,0	85,1	87,9	87,8	74,7	82,6	82,0	75,7	74,5	77,8	77,8	74,4	73,5	67,3	76,9	76,8	65,8	80,8	61,5	67,7
	82,5	70,4	70,6	70,3	78,0	78,8	84,5	86,4	87,3	73,5	82,4	81,9	75,6	73,6	77,5	75,9	73,9	73,5	66,9	75,9	76,4	65,3	78,2	60,8	67,5
	79,2	69,6	70,3	67,7	76,4	78,7	84,5	85,9	86,8	73,5	82,0	79,2	72,2	73,5	76,8	72,7	71,8	73,4	65,1	74,5	75,9	64,3	75,7	60	65,7
	78,9	69,5	69,7	66,6	71,4	78,6	84,5	85,5	84,3	73,1	77,8	75,9	71,6	73,3	75,6	70,9	71,7	73	64,2	74,2	74,2	64,1	73,5	59,8	64,5
		68,5	68,0	66,5	70,9	74,3	81,4	82,1	82,6	72,8	75,8	75,3	71,0	72,8	75,6	62,1	68,7	71,3	62,7	70,4	70,1	61,4	71	54,8	63,2
		64,2	63,3	64,3	70,7	70,8	77,3	79,1	82,4	71,5	73,6	71,8	70,8	72,0	72,2	56	61,9	68,3	62	69,9	68,4	59	70,8	54,3	58,2
		61,9	62,7	62,0	70,6	68,6	73,2	74,6	80,5	66,7	73,5	70,3	65,4	67,0	68,1	50,5	59,8	64,7	60,3	65,9	67,9	58,3	68,9	52,9	56,7
		60,8	57,7	59,9	69,6	66,6	72,2	73,3	78,1	66,5	73,5	67,7	63,6	66,7	64,1		56,9	56,8	59,4	65,4	67,5	57,1	63,1		
		56,6		58,5	64,6	65,6	70,1	72,8	73,6	60,5	63,8	67,7	61,0	64,8	60,5		53,6	55,1	51,8	65,4	62,3		57,1		
		54,7		45,0	61,2	58,7		69,9	73,6		55,4		57,3	58,1											
V₈₅	96,7	80,0	78,7	73,9	91,4	85,5	94,9	94,1	94,0	81,3	93,1	89,5	86,4	79,8	86,2	82,9	82,8	79,1	75,7	83,2	88,3	75,4	89,8	65,0	70,8
Vozač_x	V13	V19	V13	V18	V13	V17	V1	V1	V13	V13	V13	V11	V13	V7	V20	V7	V13	V14	V19	V19	V19	V12	V14	V20	V10
a_{v85}	0,347	0,177	0,228	0,2	0,111	0,1	0,078	0,1	0,052	0,172	0,214	0,108	0,2	0,3	0,244	0,039	0,103	0,096	0,186	0,469	0,293	0,275	0,085	0,514	0,316

Prilog 7. Vrijednosti 85- postotnog vozača za smjer Sinj-Vrlika

Brzina [km/h]																								
	R7	R18	R19	R30	R32	R43	R44	R45	R47	R48	R53	R54	R55	R58	R60	R61	R63	R64	R65	R69	R71	R77	R78	R97
	69,7	93,3	78,7	112,3	109,6	112,0	101,6	103,5	90,8	76,3	111,4	107,6	92,2	110,5	97,9	96	87,6	93,4	93,4	92,8	95,1	114,7	84	76
	69,6	87,2	71,2	101,5	98,1	111,0	97,8	98,5	85,2	73,2	98,1	94,2	89,8	108	97,5	91,3	86,4	74,2	82	89,4	81,5	94,3	83,9	75,6
	66,7	77,8	65,6	99,1	95,8	100,3	97,4	95,3	84,2	70,8	92,9	88,2	89,5	95,4	95,8	88,8	83,5	72	80,8	88,7	81,3	87,6	77,1	73,9
	65,8	76,5	65,1	92,8	91,5	99,6	97,1	94,7	78,5	70,7	90,8	83,3	89	92,7	91,4	85,3	78,8	71,8	79,3	88,6	81,1	86,4	77	70,5
	65,7	76,4	64,1	91,0	89,6	96,2	95,2	93,9	78,1	69,5	90,3	81,7	83,9	88,4	88,7	84,3	78,2	71,3	79,2	84,8	79,9	86	75,4	68,5
	61,9	76,1	62,5	90,8	86,7	95,3	93,1	90,4	77,7	69	83,9	80,9	83	88	87,1	81,1	77,5	70,3	78,3	84,5	78,8	84,5	71,6	67,4
	61	75,7	61,8	86,3	86	93,8	92,9	88,6	77,1	68,6	83,2	78	80,1	87,8	84,4	80,5	77,1	69,7	77,3	82,4	78,4	84,4	71,1	66,1
	60,6	75,7	60,5	85,0	84,3	92,9	92,5	87,3	76,5	68	82,6	77,7	79,5	87,8	83,7	80,1	76,7	67,9	76,9	82,1	77,5	83,9	71,1	65,1
	59,4	75,5	60,5	84,6	84,0	92,3	90,6	85,6	74,7	67,8	81,8	77,5	79	86,6	81,9	77,8	76,6	66	76,3	79,9	75,6	83,4	71	64,6
	59,2	75,3	58,9	82	83,4	92,2	90,3	85	74,6	67,3	80,9	75,2	77,5	85,5	79,5	76,3	72,1	66	72,7	79,5	75,4	83	70,4	62,9
	58,9	74	58,7	79,9	82,2	88,8	87,6	82,7	73,4	65,7	80,2	73,4	75,3	85,4	77,5	76,1	72	65,6	72,4	78,6	70,7	82,9	67	62,7
	58,4	73,9	57,9	79,2	80,6	87,1	87,1	81,2	73,3	65,3	77,1	71,8	74,9	80,7	75,4	75,1	71,6	65	71,6	77,1	70,7	80,8	65,5	62,7
	58,1	73,3	57,9	78,4	80,0	85,3	86,6	81,2	72,1	63,6	74,9	71,6	73,9	78,7	74,9	74,8	70,1	64,7	71,5	75,5	70,2	80,7	65,3	61,4
	58,0	72,6	56,5	76,2	79,1	85,3	85,9	81,1	71,9	63,1	74,9	71,5	72,4	78,3	72,9	73,8	67,4	63,9	68,7	74,5	69,7	79,8	64,9	60,2
	57,2	71,5	56,4	71,2	78,1	85	83,3	79,8	70,3	62,4	71,1	71,2	71,6	77,5	71,8	73,2	67	63,7	63,8	73,5	69,4	75,5	64,8	59,8
	56,9	70,9	55,8		76,8	82,6	82,7	76,1	68,1	60,6	70,1	70,2	70,4	76,3	71,5	69,5	66,5	63,6	63,5	72,8	69,1	75	61,9	57,9
	56,9	65,8	55,6		75,6	82,3	82,3	76	66,4	60,6	69,7	69,3	68,0	75	69,4	63,6	66	60,3	63,4	68,7	68,8	75	59,3	54,5
	55,4	64,0	54,3		74,2	79,0	82,2	75,6	66,2	60	65	69,2	67,8	73,6	63,9	62,8	65,3	58,8	62,3	68,3	68,4	58,2	54,1	52,2
	54,9	63,1	54,0		70,9	77,7	74,6	67,9	65,1	58,0	63,2	68,8	66,5	71,8	62,1	55,5	61,8	58,4	59,5	67,7	66,1	56,1	48,3	46,2
	53,9	62,6	53,4		68,7	67,2	68,1	62,6	61,2	48,1	62,5	64,5	60,7	66,8		12,5	59,5	54,4	56,8	65,3	65,2			
V₈₅	65,8	76,5	65,1	99,1	91,5	99,6	97,1	94,7	78,5	70,7	90,8	83,3	89,0	92,7	91,4	85,3	78,8	71,8	79,3	88,6	81,1	86,4	77,0	70,5
Vozač_x	V10	V1	V10	V19	V7	V20	V18	V1	V1	V8	V1	V13	V9	V20	V13	V18	V9	V11	V18	V20	V1	V8	V13	V7
av₈₅	0,449	0,431	0,569	0,373	0,124	0,107	0,106	0,129	0,248	0,376	0,269	0,097	0,500	0,087	0,545	0,227	0,352	0,362	0,183	0,139	0,240	0,189	0,304	0,457