

# Analiza ovisnosti usporenja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste

---

Zečević, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*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:123:917351>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-25**



*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**

**Ivan Zečević**

**Split, 2022.**

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

**Ivan Zečević**

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

**Diplomski rad**

**Split, 2022.**

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

**STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
**KANDIDAT: Ivan Zečević**  
**MATIČNI BROJ: 0083215495**  
**KATEDRA: Katedra za prometnice**  
**PREDMET: Ceste**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Analiza ovisnosti usporenja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste

***Opis zadatka:***

**Zadatak**

Zadatak je analizirati fenomen usporenja između pravca i horizontalne krivine. 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 usporenja 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 usporenja na potezu između lokacije najveće ostvarene brzine na pravcu do najmanje ostvarene brzine u kružnoj krivini. Analizu izvršiti za 85% vrijednosti usporenja, za 50% (prosječne) vrijednosti usporenja 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:  
Izv.prof.dr.sc. Ivo Andrić

Komentorica: Dr.sc. Biljana Maljković

# **Analiza ovisnosti usporenja vozila o geometrijskim karakteristikama trase ceste**

## **Sažetak:**

Dosadašnja istraživanja dovela su do zaključka da se veliki broj prometnih nesreća događa na prijelazu s pravca u horizontalnu krivinu, što upućuje na to da se među uzrocima prometnih nesreća, uz pogreške samih vozača mogu razmatrati i geometrijske karakteristike ceste. S ciljem povećanja razine sigurnosti u prometu provode se nove analize i istraživanja. U radu su prikazani postojeći modeli koji su obrađivali fenomen usporenja na prijelazu s pravca u horizontalnu krivinu na temelju podataka o geometrijskim karakteristikama ceste. Obradom podataka mjerenih od strane 20 vozača na dionici Vrlika – Sinj, izrađeni su regresijski modeli intenziteta usporenja vozila, napravljena je usporedba s nekim od postojećih modela te su doneseni zaključci o utjecaju geometrijskih karakteristika ceste na intenzitet usporenja vozila.

## **Ključne riječi:**

konzistencija, operativna brzina, kontinuirani podaci, geometrijske karakteristike, pravac, horizontalna krivina, usporenje, regresijska analiza, modeli

## **Abstract:**

Previous research has led to the conclusion that a large number of traffic accidents occur at the transition from an approach tangent to a horizontal curve, which indicates that among the causes of traffic accidents, in addition to the mistakes of the drivers themselves, the geometric characteristics of the road can also be considered. With the aim of increasing the level of traffic safety, new analyzes and research are being carried out. The paper presents some previous models that processed the phenomenon of deceleration at the transition from an approach tangent to a horizontal curve based on data on the geometric characteristics of the road. By processing the data measured by 20 drivers on the section Vrlika - Sinj, regression models of the intensity of vehicle deceleration were created, a comparison was made with some of the existing models, and conclusions were drawn about the influence of the geometric characteristics of the road on the intensity of vehicle deceleration.

## **Key words:**

consistency, operating speed, continuous data, geometric characteristics, tangent, horizontal curve, deceleration, regression analysis, models

# Sadržaj

<u>1. UVOD</u> .....	1
<u>2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA</u> .....	3
<u>3. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA</u> .....	6
<u>3.1. Pregled prethodnih istraživanja</u> .....	6
<u>4. METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA PODATAKA</u> .....	9
<u>4.1. Oprema korištena za prikupljanje podataka</u> .....	9
<u>4.2. Obilježja promatrane dionice</u> .....	10
<u>5. ANALIZA USPORENJA VOZILA</u> .....	13
<u>6. ANALIZA UTJECAJA GEOMETRIJSKIH KARAKTERISTIKA TRASE NA INTENZITET USPORAVANJA</u> .....	17
<u>6.1. Višestruka linearna regresija</u> .....	17
<u>6.2. Analiza ovisnosti intenziteta 85% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase</u> ..	21
<u>6.3. Analiza ovisnosti intenziteta 50% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase</u> ..	26
<u>6.4. Analiza ovisnosti intenziteta usporenja 85-postotnog vozača o geometrijskim karakteristikama trase</u> .....	30
<u>6.5. Analiza ovisnosti intenziteta 50% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase za vrijednosti radijusa <math>R=0-420</math> m</u> .....	35
<u>7. USPOREDBA S PRIJAŠNJIM MODELIMA</u> .....	40
<u>8. ZAKLJUČAK</u> .....	42
<u>LITERATURA</u> .....	44
<u>PRILOZI</u> .....	46

# 1. UVOD

Jedno od bitnijih obilježja suvremene civilizacije koja omogućavaju dodatni napredak u raznim segmentima življenja je motorizirani cestovni promet, koji uz niz prednosti koje utječu na kvalitetu življenja nosi sa sobom i niz problema. U suvremenom svijetu promet je iz dana u dan u sve većem porastu [1]. S obzirom na stalni rast potrebno je povećati sigurnost prometa. Bitni čimbenici o kojima ovisi sigurnost cestovnog prometa su prometno-tehnički elementi ceste. Njihovim pravilnim izvođenjem znatno se povećava sigurnost prometa te smanjuje broj prometnih nesreća.

Dosadašnja istraživanja opisuju horizontalne krivine kao kritične dionice prometnica zbog njihove „crne“ statistike. Statistički podaci ukazuju da se jako veliki broj prometnih nesreća događa upravo u horizontalnim krivinama vangradskih dvotračnih cesta.

Postoje tri bitna čimbenika koji utječu na sigurnost prometa [1]:

1. sudionici,
2. vozila i
3. obilježja ceste.

Ulaganja u prometnu infrastrukturu su jedna od najznačajnijih oblika ulaganja, kako na gradskoj, županijskoj pa tako i državnoj razini budući da se takvim pravovremenim interveniranjem smanjuju mogućnosti nastanka bilo kakvih nesretnih slučajeva te povećava cjelokupna sigurnost prometa.

Nekonzistentnost elemenata trase je najčešći uzrok nastajanja prometnih nesreća. Brzine kojima se vozači kreću često ne odgovaraju brzinama na temelju kojih se projektiraju elementi ceste. Vozači odabiru brzinu s obzirom na vlastitu percepciju ceste zbog čega je karakteristike elemenata trase potrebno uskladiti s očekivanjima vozača [2].

Jedan od problema je i način projektiranja cesta, gdje se projektiranje elemenata trase prometnice temelji na projektnoj brzini, koju određuje projektant zavisno o konfiguraciji terena i kategoriji ceste.

Projektna brzina služi za određivanje graničnih vrijednosti tlocrtnih i visinskih elemenata trase. Uz projektnu brzinu, kod projektiranja se primjenjuje i računski brzina koja je također teoretska vrijednost.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da se broj prometnih nesreća povećava smanjenjem polumjera horizontalne krivine, pogotovo kada je potrebno značajno smanjenje brzine za siguran prolazak kroz krivinu, a da se povećanjem broja krivina malih radijusa duž trase ceste broj nesreća smanjuje. To ukazuje kako postoji veza između konzistencije toka trase i sigurnosti.

Provjera konzistentnosti ima za cilj izbjegavanje kombinacije elemenata trase koja bi mogla iznenaditi vozača i dovesti do neočekivanog ponašanja i potencijalno do prometne nesreće. Mjere za provjeru i osiguranje konzistencije toka trase najčešće se temelje na izradi profila operativne 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 na promatranjoj dionici.

U ovom radu objašnjeni su osnovni principi fenomena promjene brzine između susjednih elemenata trase. Izvršena je analiza 85% usporenja, 50% usporenja i analiza usporenja 85% vozača za odabranu dionicu. Za analizu su korišteni samo segmenti s pravcima dužim od 120 m – objasniti zašto. Podaci su obrađeni i evidentirani u programu Excel, a nakon toga je istražena ovisnost intenziteta usporenja o geometrijskim karakteristikama trase kao što su: duljina pristupnog pravca, polumjer krivine, duljina kružnog luka, skretni kut i uzdužni nagib. Analiza je izvršena primjenom višestruke regresijske analize u softveru za statističku analizu JASP.



## 2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja je ispitati utjecaj geometrijskih karakteristika trase na usporenu vozila na prijelazu s pravca u horizontalnu krivinu. Svrha ovakvih istraživanja jest unaprjeđenje pravilnika u smislu mjera za osiguranje konzistentnosti trase ceste.

Potreba za ovakvim istraživanjima se javlja jer je utvrđeno da se više od 25% prometnih nesreća sa smrtno stradalima dogodi u horizontalnim krivinama vangradskih dvotračnih cesta [3]. Ta činjenica ukazuje da se uzroci nastajanja prometnih nesreća mogu pronaći i u tehničkim nedostacima same ceste koji mogu nastati pri projektiranju i izvođenju prometnice. Razlog tome je što „koncept projektne brzine“ ne osigurava konzistentnost toka trase, te je primjena operativnih brzina u takvim slučajevima od velikog značaja [4].

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. Projektna brzina ( $V_p$ ) određuje granične vrijednosti tlocrtnih i visinskih elemenata trase: minimalni polumjer horizontalnog zavoja, maksimalni uzdužni nagib i poprečni presjek. Ukoliko se 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 projektom zadatkom na temelju zadaće ceste u cestovnoj mreži, odnosno kategorije ceste, konfiguracije terena odnosno prostornih ograničenja i najveće zakonom dozvoljene brzine [5].

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 zavoja,
- najmanji polumjer horizontalnog zavoja sa suprotnim poprečnim nagibom kolnika.

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

Računska brzina  $V_r$  određuje se na temelju projektiranih tlocrtnih (najmanjeg primijenjenog polumjera horizontalnih zavoja) i visinskih elemenata trase (najvećeg primijenjenog uzdužnog nagiba). Mjerodavna računski brzina  $V_r$  za određeno mjesto trase jednaka je vrijednosti manje od dviju ovako određenih veličina. Za ceste 3., 4. i 5. kategorije projektna brzina  $V_p$  uzima se kao računski brzina  $V_r$  [5].

Kada se na cestama treće kategorije (i niže) za računski brzinu ne bi koristila projektna brzina već bi se određivala na isti način kao i za ceste viših kategorija, poprečni nagib bi bio veći i samim time bi znatno bolje odgovarao stvarnim brzinama na cesti jer bi se manje prekoračile dozvoljene vrijednosti radijalnog otpora trenja. Iz navedenog je jasno da postoji potreba za procjenom 85% brzine i crtanjem profila da bi se odabrao najpovoljniji način raspodjele poprečnih nagiba s obzirom na stvarne brzine vožnje u krivinama [2].

Poprečni nagib kolnika u zavoju u pravilu je usmjeren prema centru zavoja i primjenjuje se radi smanjenja djelovanja centrifugalne sile i odvodnje kolnika.

Najveća dopuštena veličina poprečnog nagiba kolnika u kružnom luku ( $q_{max}$ ) izvodi se u zavoju najmanjeg polumjera ( $R_{min}$ ) i iznosi:  $q_{max} = 7\%$ .

Kružni luk je temeljni tlocrtni element ceste. Veličina polumjera kružnog luka ovisi o projektnoj brzini, terenskim uvjetima, susjednim zavojima i o mogućem odnosu projektne i računski brzine.

Najmanji polumjer kružnog luka ( $R_{min}$ ) za projektnu brzinu ( $V_p$ ) ovisi o dopuštenim veličinama radijalnog koeficijenta otpora klizanja ( $f_{R,dop}$ ) i od najvećeg dopuštenog poprečnog nagiba kolnika u kružnom luku ( $q_{max}$ ). Najmanji polumjer ( $R_{min}$ ) primjenjuje se iznimno ako to zahtijeva vrsta terena, odnosno prostorno ograničenje.

Ako se zavoj primjenjuje iza pravca, odnos između duljine pravca i veličine polumjera treba biti:

- za  $L_{pr} \leq 500$  m             $R \geq L_{pr}$ ,
- za  $L_{pr} > 500$  m             $R \geq 500$  m,

gdje je  $L_{pr}$  (m) duljina međupravca [5].

### 3. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Prethodnih desetljeća proveden je veliki broj istraživanja koja su se bavila problematikom i analizom brzina, ubrzanja i usporenja vozila u horizontalnim krivinama cesta ruralnih područja. Istraživanjem se došlo do zaključka da postoji nekoliko važnih elemenata koji utječu na brzinu u horizontalnim zavojima: polumjer i duljina krivine, uzdužni nagib, skretni kut i poprečni presjek.

Istraživanja pokazuju da operativna brzina u horizontalnoj krivini najviše ovisi o radijusu krivine. Prikupljanje relevantnih podataka nailazilo je na određeni niz ograničenja koja su vidljiva kroz nedostatke u količini i kvaliteti podataka. Osnovno ograničenje bilo je preciznost opreme koju su istraživači imali na raspolaganju. Za prikupljanje podataka brzine vozila korišten je optički mjerni instrument, odnosno optički radar.

Druga metoda prikupljanja podataka koja se koristila je postavljanje senzora po kolnicima, što od istraživača zahtijeva veći trud, više uloženog vremena i samim time produženo trajanje istraživanja, budući da zahtijeva veću količinu opreme koja treba biti postavljena i naknadno uklonjena sa postojećih kolničkih trasa. Ova metoda kao ni prethodno opisana nije u potpunosti vjerodostojna, budući da i ona može značajno utjecati na ponašanje vozača [6].

Uočeno je da i jedna i druga metoda imaju ograničenja koja se očituju kroz činjenicu da su se podaci o brzini mjerili točkasto, najčešće na sredini pravca i horizontalne krivine ili 200 m prije kraja pravca.

Novija istraživanja baziraju se na metodama koje su statistički vjerodostojnije, čime se dolazi do relevantnijeg zaključka istraživanja. Neka od najčešće korištenih metodologija danas je prikupljanje podataka bazirano na GPS sustavima kojima se kontinuirano prikupljaju, bilježe te procesuiraju podaci.

#### 3.1. Pregled prethodnih istraživanja

Veliki broj prethodnih istraživanja bio je usmjeren na analizu te razvoj modela za predviđanje operativnih brzina, a manji broj istraživanja bavio se proučavanjem fenomena ubrzanja i usporenja. Svi modeli prethodno definirani kroz istraživanja koji predviđaju operativnu brzinu

i objašnjavaju fenomen usporenja i ubrzanja najviše ovise o varijablama kao što su polumjer i duljina krivulje, uzdužni nagib, skretni kut i poprečni presjek.

### **Argentina**

U istraživanju Altamire [7] analiziran je fenomen ubrzanja i usporenja između pravca i horizontalne krivine s obzirom na duljinu pristupnog i pravca iza krivine.

Duljina usporenja je udaljenost na kojoj je vozač primijetio zavoj i reagirao usporenjem kako bi prilagodio brzinu za prolazak zavoja u skladu s dostupnom udaljenosti i percipiranim radijusom zavoja. Ona uglavnom varira od 50 do 200 m. Istraživanje pokazuje da duljina usporenja raste s povećanjem uzdužnog nagiba, te da usporenje na kraju prilazne tangente više ovisi o radijusu nego o prilaznoj brzini.

Došlo se do zaključka da je polumjer najznačajnija varijabla koja utječe na promjene brzine na pristupnoj tangenti.

Općenito su usporavanja promatrana na prilaznim tangentama veća od onih u zavojima, što znači da vozači odlučuju smanjiti većinu svoje brzine prije ulaska u zavoj.

### **Švicarska**

U švicarskim smjernicama [8] za projektiranje prvi put je uveden postupak izrade profila brzine za procjenu konzistentnosti uz definiranje smanjenja brzine između uzastopnih horizontalnih elemenata. Taj model pretpostavlja konstantne stope usporavanja i ubrzanja od  $0,80 \text{ m/s}^2$ . [9]

### **Italija**

Talijanske smjernice [10] koriste istu metodu za ocjenu konzistentnosti trase kao i švicarske smjernice.

Lamm [11] je predložio prvi model operativne brzine za procjenu konzistentnosti koristeći stope usporavanja i ubrzanja od  $0.85 \text{ m/s}^2$ . Naknadno je Perco [12] prikupio podatke o brzini na 10 krivina talijanskih cesta, a analiza podataka pokazala je da vrijednosti usporavanja uvelike variraju od krivine do krivine i da stopa usporavanja doseže svoju maksimalnu vrijednost neposredno prije ili na točki početka zakrivljenosti. Istraživanje je također potvrdilo da vrijednost usporavanja od  $0.85 \text{ m/s}^2$  ne opisuje realno fenomen smanjenja brzine prije zavoja.

## SAD

Collins i Krammes [13] su prikupili podatke duž 10 krivina ( $175 \text{ m} \leq R \leq 437 \text{ m}$ ) i pristupnih tangenti ( $260 \text{ m} \leq L \leq 1393 \text{ m}$ ), te su analizom došli do saznanja da se vrijednost usporavanja kretala od  $0.35 \text{ m/s}^2$  do  $1.19 \text{ m/s}^2$ , što se nije značajno razlikovalo od najčešće korištene vrijednosti od  $0.85 \text{ m/s}^2$ .

Fitzpatrick [14] je prikupio podatke za 21 krivinu ( $175 \text{ m} \leq R \leq 873 \text{ m}$ ) i duž prilaznih tangenti. Njegove su analize pokazale da se vrijednosti usporavanja i ubrzanja od  $0,85 \text{ m/s}^2$  značajno razlikuju od izmjerenih vrijednosti. Predloženi model usporavanja je jednadžba regresije za ograničenu skupinu radijusa ( $d = 0.6794 - 295.14/R$  za  $-175 \text{ m} \leq R < 436 \text{ m}$ ) i konstantnu brzinu za ostale polumjere ( $0.00 \text{ m/s}^2$  za  $R \geq 436 \text{ m}$ ;  $1.00 \text{ m/s}^2$  za  $R < 175 \text{ m}$ ).

## Španjolska

U istraživanju Pérez-Zuriaga [6] regresijska analiza za operativne brzine u krivinama dala je model s polumjerom kao objašnjavajućom nezavisnom varijablom i koeficijentom determinacije  $R^2=0.76$  koji vrijedi za radijuse do 930 m. Uočili su da za blaže krivine radijus nije toliko značajna varijabla kao u krivinama malih radijusa. Iz tog razloga napravili su dodatni model s radijusima veličine do 400 m kako bi točnije prikazali ponašanje vozača, te su na tom modelu dobili koeficijent determinacije u iznosu od  $R^2=0.84$  koji je veći od onoga u prethodnom modelu. Uz radijus, skretni kut je također bio objašnjavajuća varijabla te su stoga napravili još jedan model s koeficijentom determinacije  $R^2=0.79$ .

Također su, zahvaljujući kontinuiranim opažanjima profila brzine, poništene pretpostavke nekolicine prethodnih istraživanja koja su pretpostavila da je brzina konstantna kroz krivinu te da se usporavanje u potpunosti odvija na prilaznom pravcu.

## 4. METODOLOGIJA PRIKUPLJANJA PODATAKA

Ovo istraživanje ima za cilj poboljšanje sigurnosti u horizontalnim krivinama vangradskih cesta na način da se pri projektiranju dobiju relevantnije vrijednosti ulaznih podataka. Ovaj rad temelji se na podacima prikupljenima kroz eksperimentalno istraživanje u sklopu disertacije Maljković [4] na dionici državne ceste DC1 na području Splitsko-dalmatinske županije u Republici Hrvatskoj. Istraživanje je provedeno na dvotračnoj vangradskoj cesti koja ima relativno malo prometno opterećenje (PGDP je 2012. godine iznosio 1421 voz/dan), bez priključka drugih važnijih cesta. Podaci su prikupljeni kroz period od listopada 2012. godine do travnja 2013. godine, pod optimalnim vremenskim uvjetima koji podrazumijevaju dnevnu vožnju i suh kolnik, s ciljem uklanjanja utjecaja čimbenika koji nisu karakteristike ceste i okoline poput primjerice namjene okolnog terena i prometnih znakova.[4]

### 4.1. Oprema korištena za prikupljanje podataka

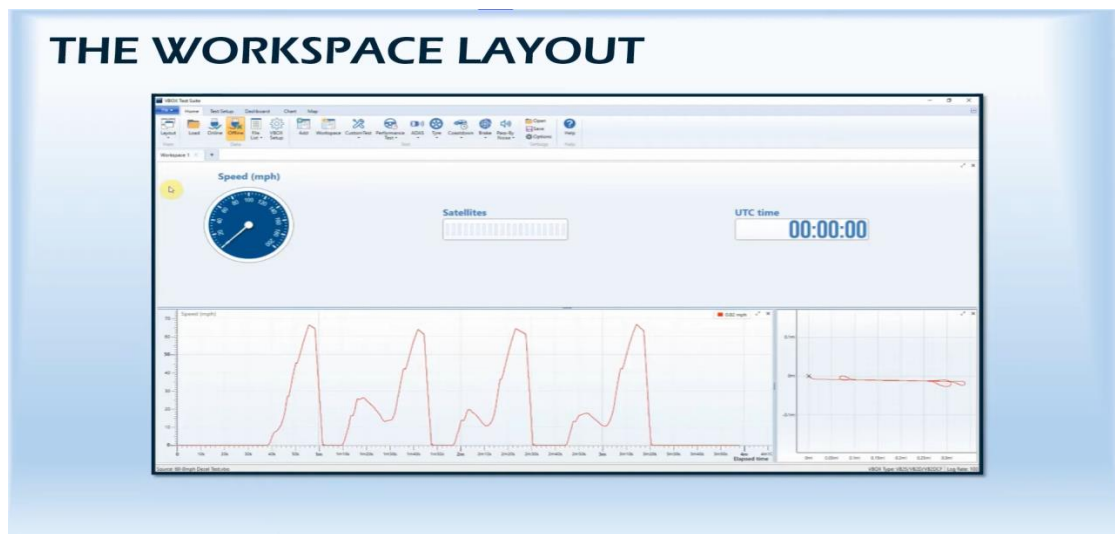
Kako bi došli do podataka o brzinama slobodne vožnje bilo je potrebno izvršiti terensko istraživanje, te zaključak donijeti na temelju relevantnih i točnih podataka. U istraživanju je sudjelovalo 20 vozača različitih dobnih i spolnih skupina i različitih vozačkih iskustava. Što se tiče spolne skupine istraživanje je obuhvatilo 13 muškaraca i 7 žena dobne skupine od 25 do 60 godina, s vozačkim iskustvom od 2 pa sve do 30 godina [4]. Svaki pojedini vozač s vlastitim automobilom bio je predmetom istraživanja, odnosno njegovo kretanje po dionici u oba smjera praćeno i opremljeno uređajem Performance Box, s ciljem prikupljanja relevantnih podataka koji će dovesti do kvalitetnog zaključka istraživanja koje se provodi.

Istraživanje je provedeno na temelju kontinuirano prikupljenih podataka uz pomoć GPS uređaja, kako bi se dobila stvarna i precizna slika o ponašanju vozača na promatranoj dionici. Od sredine 80-ih godina za globalna pozicioniranja vrlo visoke točnosti ali i za one manje zahtjevne točnosti primjenjuje se GPS, odnosno globalni položajni sustav.

Performance Box je GPS uređaj koji radi s većom frekvencijom nego GPS uređaji koji su korišteni u prijašnjim istraživanjima ovoga tipa, a koji omogućuje mjerenje brzine, vremena, ubrzanja, usporenja kao i same udaljenosti. Svi ti parametri spremaju se na SD karticu 10 puta u sekundi, vidljivi su na ekranu te se dodatno mogu analizirati kroz VBOX sustav.

PerformanceBox sadrži integriranu antenu, kompaktne je veličine te je jednostavan za instalaciju ali i samu upotrebu. S obzirom da radi s frekvencijom značajno većom od GPS sustava koji je dosad bio u upotrebi, samim time je precizniji te daje relevantnije podatke. PerformanceBox prima sve informacije sa GPS satelita te mu je samo potrebno napajanje iz vozila.

VBOX Test Suite [10] (Slika 1.) je programski sustav pogodan za mjerenje performansi vozila, točnosti brzine do  $\pm 0.1$  km/h. Važno je da je uređaj povezan na automobil, prenosi podatke u VBOX sustav te da se vozilo ne zaustavlja prilikom snimanja podataka [15].



Slika 1. VBOX Test Suite

Iz podataka koji su snimljeni kontinuiranim praćenjem svakog pojedinog vozila iščitana je najmanja realizirana brzina u horizontalnoj ravnini, najveća brzina na pravcu te vrijeme potrebno za ostvarivanje te promjene brzine. S ciljem prikupljanja relevantnih podataka uzimaju se u obzir isključivo brzine slobodne vožnje, a pritom svi podaci koji imaju bilo kakvu vanjsku smetnju isključuju se iz baze podataka što podrazumijeva da sva vozila koja su predmetom istraživanja na dionici koja se promatra kreću neometano bez vanjskih smetnji.

## 4.2. Obilježja promatrane dionice

Prilikom provođenja istraživanja potrebni podaci prikupljeni su na dionici ukupne duljine od 24 km. Istraživanje se provelo na dionici državne ceste DC1 od grada Sinja do grada Vrlike.

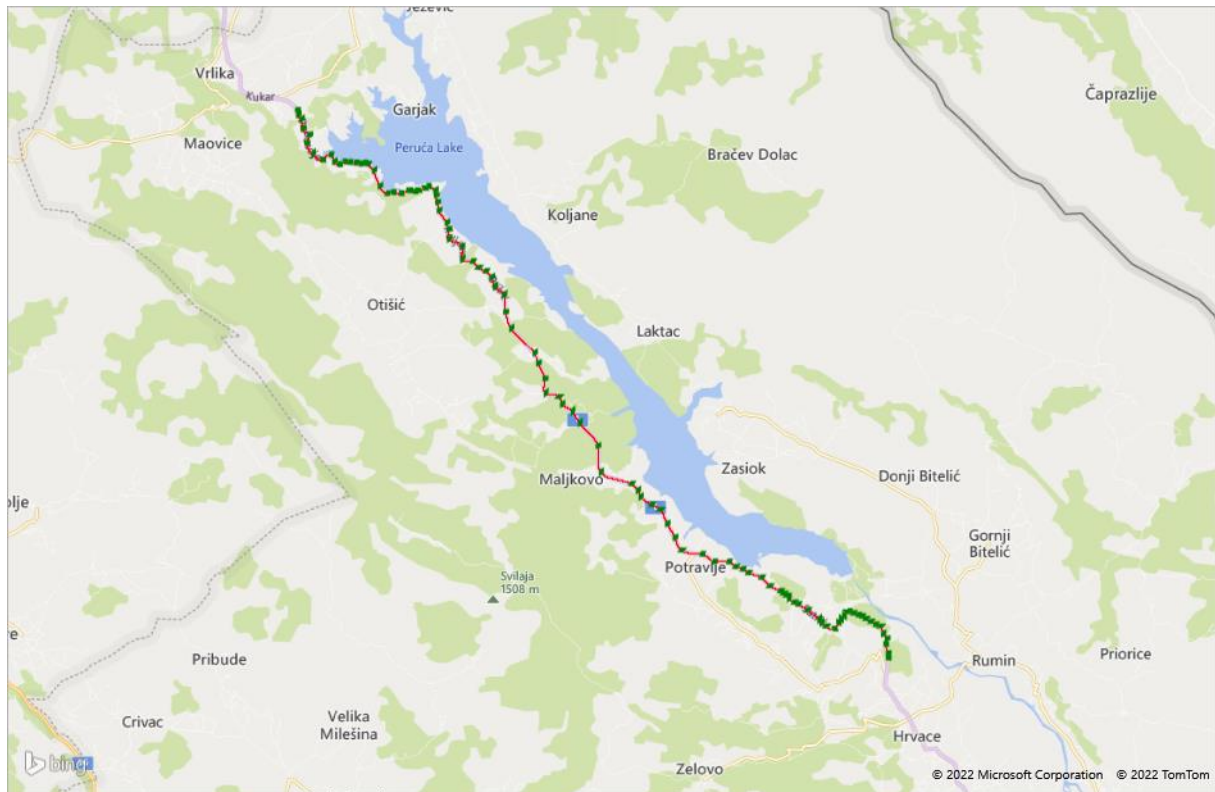


Zbog obilježja koje ima, promatrana dionica je pogodna za provođenje analize usporenja, prvenstveno zbog velikog broja horizontalnih krivina ali isto tako i pravaca različitih duljina. Analizirana dionica sastoji se od 97 horizontalnih krivina s rasponom polumjera od 80 do 1010 m, te 92 pravca duljine do 700 m. Uzdužni nagib zabilježen na pravcu promatrane dionice kreće se u rasponu od 0% pa sve do 6%, dok su horizontalne krivine uglavnom izvedene bez prijelaznica, a ukoliko postoji ona je duljine od 20 pa do maksimalnih 30 m [4]. Geometrijske karakteristike promatrane dionice opisane su u nastavku u *Tablici 1*.

*Tablica 1. Prikaz geometrijskih karakteristika promatrane 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	0	683	96	101.75
Prijelaznica	Duljina	0	60	32	10.54
Vertikalni tok trase	Uzdužni nagib (%)	0.5	6	0.2	2.47

Dionica DC1 je glavna državna cesta koja se proteže u smjeru sjever-jug ukupne duljine 421.2 km, a predmetom ovog istraživanja je dio ove prometnice, ukupne duljine 24 km. Do izgradnje autoceste bila je najvažnija cesta u Hrvatskoj zbog povezivanja sjevernog i južnog dijela zemlje [16]. Na *Slici 2*. je prikazana promatrana dionica.



Slika 2. Prikaz promatrane dionice Vrljka-Sinj

Prema Pravilniku za projektiranje cesta iz 1961. godine promatrana državna cesta DC1 projektirana je kao magistralna cesta drugog razreda računске brzine  $V_r = 60$  km/h. Najmanji zabilježeni polumjer horizontalne krivine prema tadašnjem Pravilniku iznosio je 100 m, a upotreba prijelaznica nije bila obavezna. Analizirajući osnovna obilježja i način određivanja vidljivo je da je računska brzina definirana Pravilnikom iz 1961. godine jednaka sadašnjoj projektnoj brzini.

## 5. ANALIZA USPORENJA VOZILA

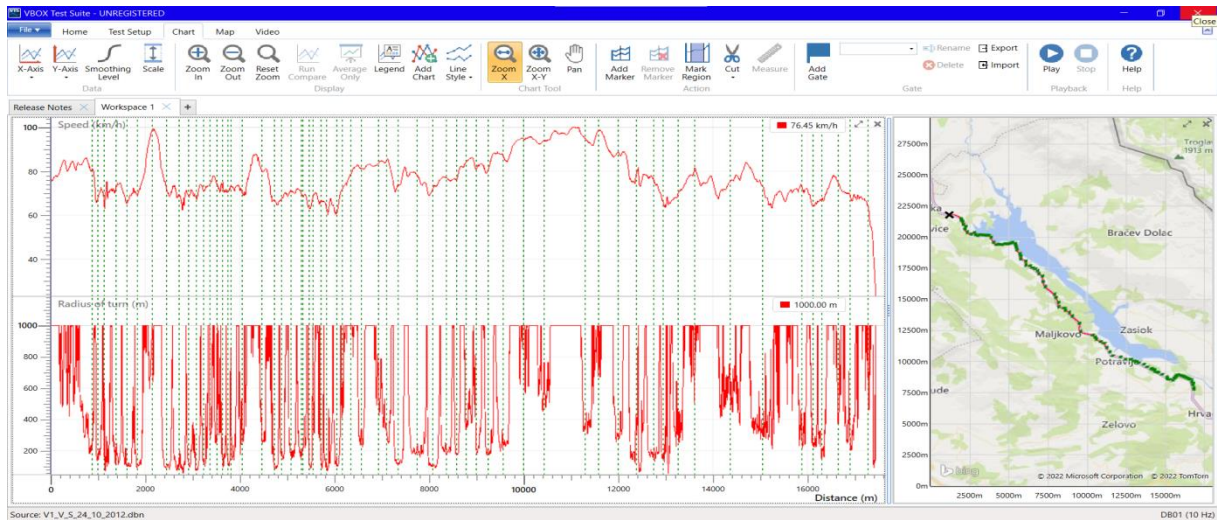
Analiza usporenja vozila provodi se za segmente trase koji predstavljaju prijelaz s pravca (duljine veće od 120 m) u horizontalnu krivinu. Analizama pojedinačnih vožnji ustanovljeno je da vozači ne uspijevaju ostvariti željenu brzinu na kraćim pravcima nego je prilagođavaju zakrivljenosti nadolazeće krivine. Zbog toga su analizirani samo segmenti s pravcima duljim od 120 m. Prema hrvatskom Pravilniku [5], a s ciljem osiguranja konzistencije horizontalnog toka trase, preporučena je najmanja duljina pravca od  $2 \cdot V_p$  za pravce između protusmjernih zavoja, te  $4 \cdot V_p$  za one pravce koji se nalaze između istosmjernih zavoja. Iako 48 segmenata zadovoljava uvjet duljine veće od 120 m, 7 segmenata je trebalo izuzeti iz analize zbog neispravnog mjerenja, odnosno zbog ostvarivanja ubrzanja, čime se dolazi do zaključka da je 41 segment relevantan za istraživanje (*Prilog 1.*).

Na temelju prikupljenih podataka, pomoću softvera *VBOX Test Suite* [15] (*Slika 3.*), za odabrane segmente, za svakog vozača zasebno, očitane su najveće brzine na pravcima, najmanje brzine u krivinama te vrijeme koje je proteklo između ostvarivanja tih istih brzina.

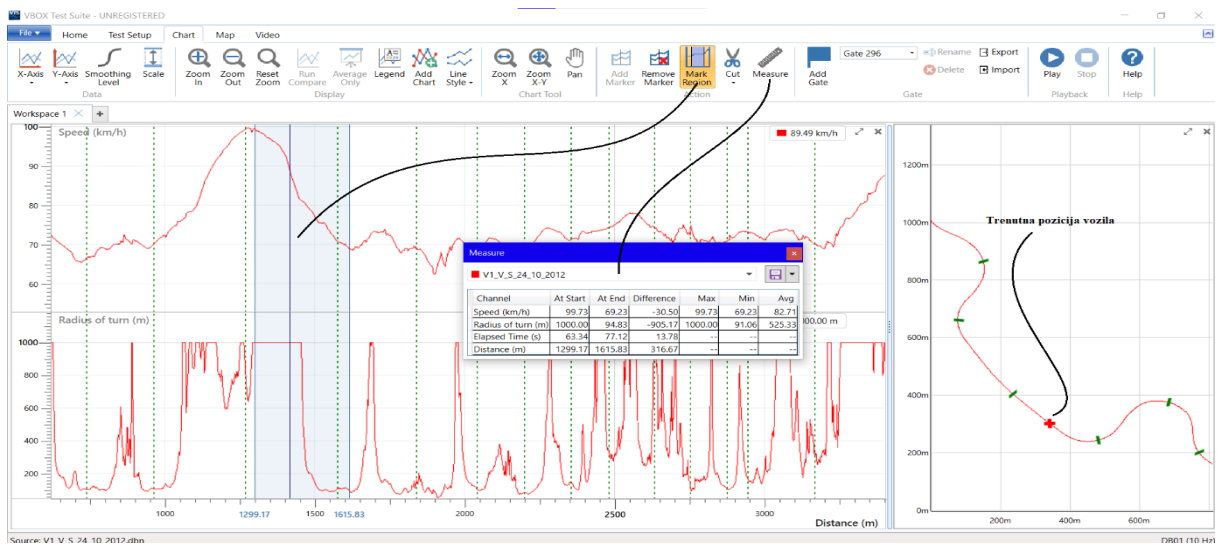


*Slika 3. Primjer analize zapisa vožnje u VBOX Test Suite-u*

Na *Slici 4.* prikazan je primjer zapisa snimljene vožnje pri čemu je na osi X označena udaljenost (m), a na osi Y brzina (km/h) i radijus horizontalne krivine (m), dok je na *Slici 5.* prikazan način očitavanja podataka iz softvera.



Slika 4. Zapis vožnje jednog vozača na dionici Vrlika - Sinj

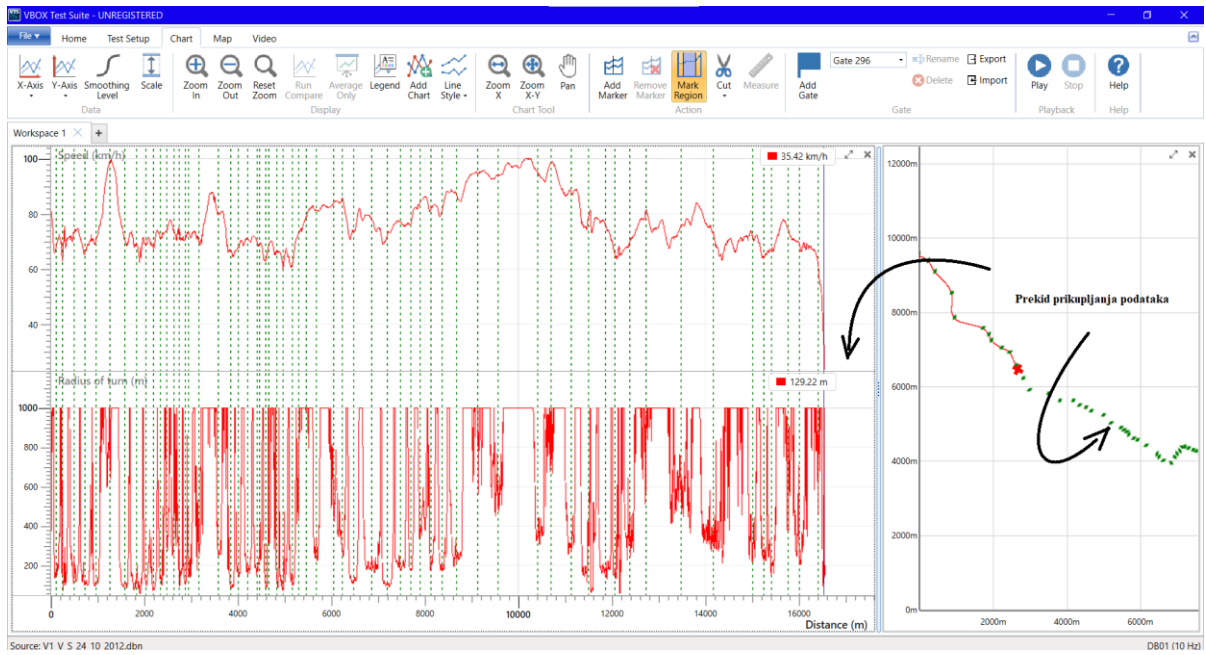


Slika 5. VBOX Test Suite - primjer očitavanja podataka

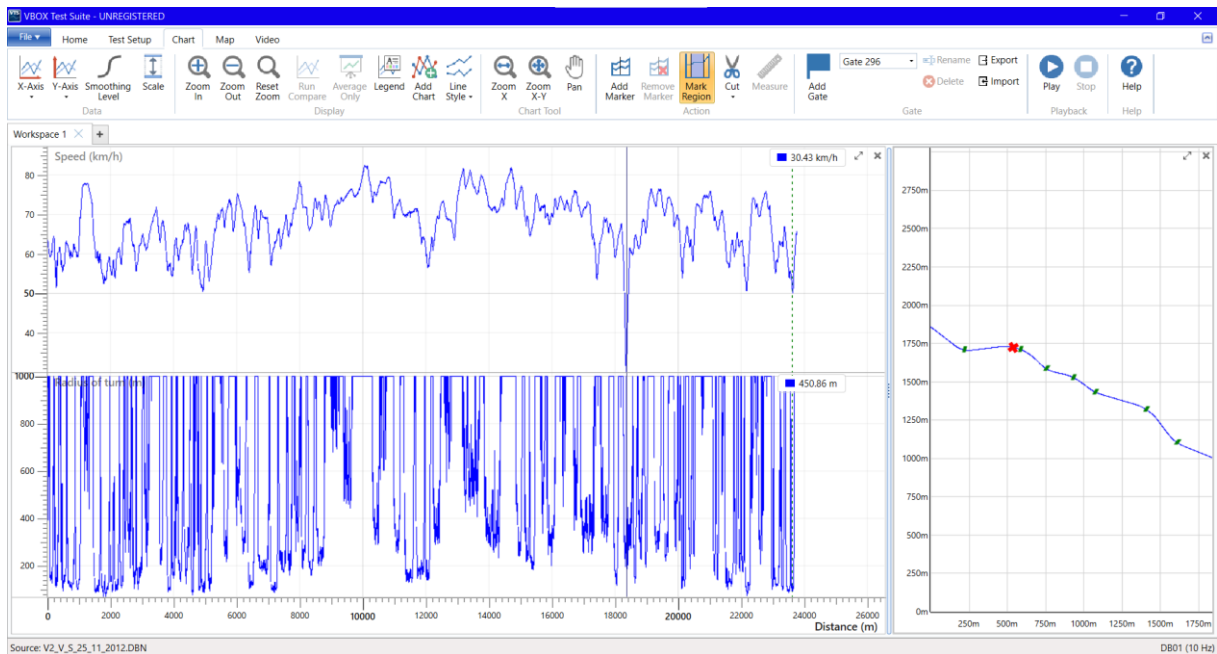
Pregledom očitanih podataka mogu se uočiti pojedine prazne ćelije za određene segmente promatrane dionice. Zbog toga što broj podataka koji nedostaju nije velik, kao takav, ima zanemariv utjecaj na provedenu analizu.

Podaci nedostaju iz različitih razloga. Prvi razlog jest zaustavljanje ispitnog vozila, to jest prekid prikupljanja podataka zbog vanjskog ometanja prometa na promatranoj dionici, kao što se vidi na Slici 6. Još jedan od razloga nedostataka pojedinih podataka su nepravilni podaci.

Na Slici 7. je vidljivo zaustavljanje vozila (na mjestu gdje je brzina jednaka 0 km/h), a zatim ponovo kretanje vozila dionicom, što se dešava uslijed prekida slobodnog toka vožnje.



Slika 6. Prekid prikupljanja podataka



Slika 7. Nepravilni podaci zbog zaustavljanja vozila

Na temelju očitanih podataka lako je izračunati intenzitet usporenja  $a_x$  ( $\text{m/s}^2$ ) na prijelazu s pravca u horizontalnu krivinu i to prema sljedećem izrazu:

$$a_x = \frac{\Delta V}{3.6 \cdot \Delta t} = \frac{V_p^{i-1} - V_k^i}{3.6 \cdot \Delta t} \quad (1)$$

gdje je:

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

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

$\Delta t$  (s) proteklo vrijeme između ostvarivanja brzina  $V_p^{i-1}$  i  $V_k^i$ .

Također, vrijednosti brzine dijelimo s 3.6 jer su izražene u km/h.

## 6. ANALIZA UTJECAJA GEOMETRIJSKIH KARAKTERISTIKA TRASE NA INTENZITET USPORAVANJA

Istraživanja čija se problematika bavi utjecajem geometrijskih karakteristika promatrane dionice na intenzitet usporavanja danas imamo u relativno malom i ograničenom broju, zbog čega rezultati ovog istraživanja mogu dati kvalitetan i značajan uvid u spomenutu problematiku.

U radu će se analizirati utjecaj različitih geometrijskih karakteristika trase na intenzitet usporenja pri prijelazu s pravca u krivinu uz primjenu višestruke linearne regresijske analize.

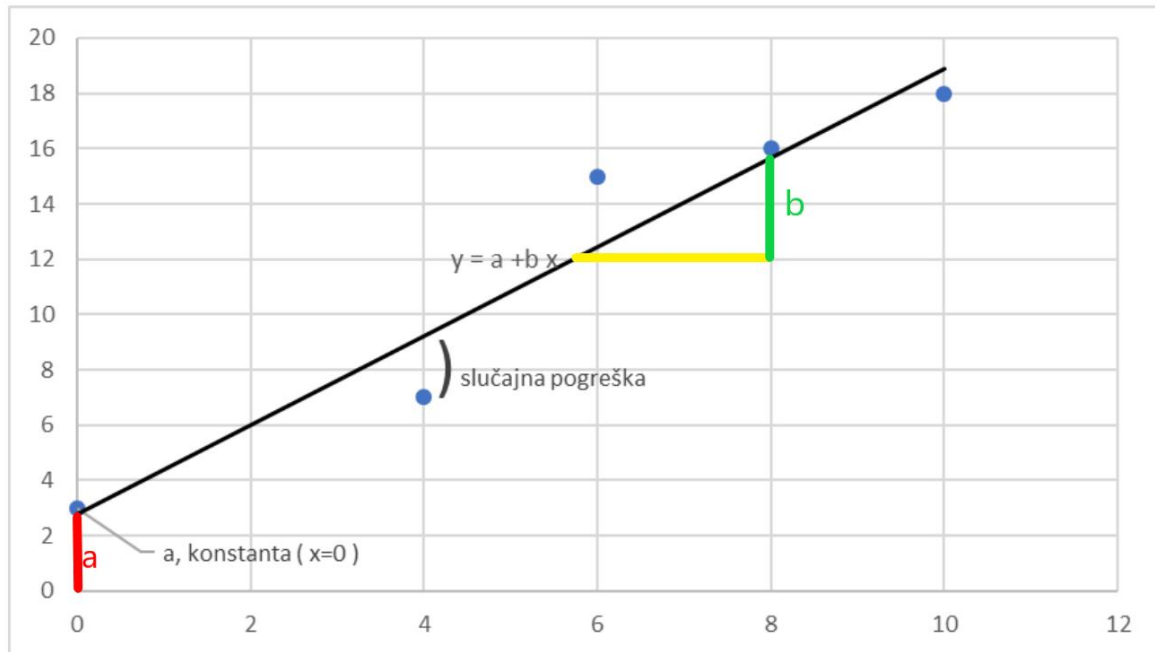
### 6.1. Višestruka linearna regresija

Nakon što je definirano koja je varijabla zavisna varijabla, a koje su nezavisne varijable potrebno je ispitati linearnost odnosno vezu između zavisne varijable i svake nezavisne varijable koja se promatra u istraživanju. Linearnost se provjerava koristeći grafički prikaz odnosa između varijabli crtanjem pojedinačnih dijagrama rasipanja i vizualnim prikazima dijagrama [4].

Model višestruke regresije ima sljedeći oblik:

$$Y = a + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n + e \quad (2)$$

pri čemu  $Y$  predstavlja zavisnu varijablu (u ovom istraživanju  $Y$  varijabla je vrijednost usporavanja vozila prilikom kretanja s pravca u horizontalnu krivinu),  $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$  predstavljaju vrijednosti nezavisnih varijabli (u ovom radu to su geometrijske karakteristike ceste), a vrijednosti  $a, b_1 \dots b_n$  predstavljaju parametre čija se vrijednost dobiva metodom najmanjih kvadrata odstupanja. Vrijednost  $e$  predstavlja slučajnu pogrešku (*Slika 8.*).



Slika 8. Parametri višestruke linearne regresijske analize

Da bi se analiza mogla provesti potrebno je definirati zavisnu i sve moguće nezavisne varijable. Za potrebe ovoga istraživanja kao zavisne varijable definirane su 85% te 50% vrijednosti intenziteta usporevanja vozila, te vrijednosti usporenja 85 postotnog vozača, dok nezavisne varijable ovog istraživanja predstavljaju određene geometrijske karakteristike dionice.

Prilikom toga, računaju se neki pokazatelji reprezentativnosti kao što su koeficijent determinacije  $R^2$  i korigirani koeficijent determinacije  $\bar{R}^2$ . Reprezentativnost regresije mjeri se računanjem koeficijenta determinacije koji predstavlja omjer protumačenog zbroja kvadrata i ukupnog zbroja kvadrata odstupanja, odnosno za cilj ima pokazati koliko učešće zbroja kvadrata odstupanja je protumačeno regresijskim modelom, a njegova vrijednost se kreće između 0 i 1.

Nakon definiranja regresijskog modela u nastavku analize potrebno je definirati intervalne procjene parametara te testirati hipoteze o eventualnoj značajnosti promatranih nezavisnih varijabli. Najčešći modeli, odnosno postupci testiranja hipoteza su Studentov t-test (test o značajnosti jedne nezavisne varijable modela) i Fisherov F-test (test o značajnosti svih nezavisnih varijabli modela).

Kod pojedinačnog testa nultom hipotezom pretpostavlja se da parametar kojeg testiramo nije statistički značajan, odnosno jednak je nuli, dok se alternativnom hipotezom pretpostavlja da



je statistički značajan (različit od nule). Testiranje se vrši t-testom uspoređujući empirijske i tablične vrijednosti pri određenoj definiranoj razini statističke značajnosti. Za razliku od t-testa odluka o odbacivanju nulte hipoteze kod F-testa donosi se uz definiranu razinu statističke značajnosti čija je vrijednost najčešće 0.05 odnosno 5%. Pri tome je bitno razlikovati teorijsku od empirijske razine signifikantnosti. Teorijska ili najčešće samo razina značajnosti predstavlja vjerojatnost odbacivanja istinite nulte hipoteze, dok empirijska ili opažena razina značajnosti (p-vrijednost) pretpostavlja vjerojatnost odbacivanja istinite nulte hipoteze izračunate pomoću podataka iz promatranog uzorka.

Da bi za regresijski model mogli reći da je reprezentativan potrebno je testirati i dokazati polazne pretpostavke. Osnovne pretpostavke koje ukazuju na reprezentativnost, a potrebno ih je dokazati su [4]:

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

Testiranje prve pretpostavke najlakše je provesti grafički uz pomoć papira vjerojatnosti normalne razdiobe usporedbom vrijednosti opaženih i očekivanih vjerojatnosti standardiziranih reziduala, gdje ukoliko se radi o normalnoj razdiobi opažene vjerojatnosti gotovo pa i ne odstupaju od očekivanih vjerojatnosti. Drugi način je pomoću histograma frekvencija standardiziranih reziduala koji se uspoređuje s grafom normalne razdiobe.

Druga pretpostavka ispituje se grafički analizirajući rezidualna odstupanja u odnosu na prognoziranu vrijednost, nezavisnu varijablu. Svojstvo homoskedastičnosti je zadovoljeno u situaciji kada se graf sastoji od slučajnog niza točaka neravnomjerno raspoređenih oko nule. Ukoliko točke na prikazanom grafu upućuju na oblik krivulje, vjerojatnost da je svojstvo homoskedastičnosti narušeno je velika. Zadovoljena pretpostavka o homoskedastičnosti znači da su intervali povjerenja koeficijenata regresije isti za sve vrijednosti zavisne varijable.

Ukoliko nije zadovoljena pretpostavka o homoskedastičnosti, 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 slučaju koreliranosti dvije ili više nezavisnih varijabli, teško je procijeniti pojedinačni utjecaj

svake nezavisne varijable jer djelomično objašnjavaju isti dio varijabilnosti nezavisne varijable.

Pokazatelji koji upućuju na prisustvo multikolinearnosti su:

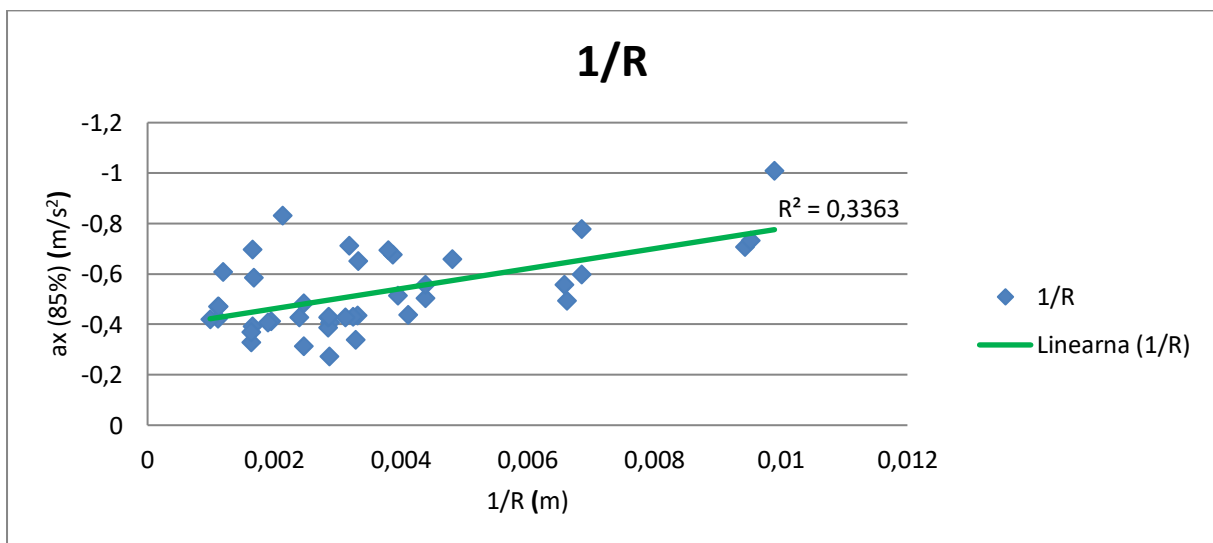
- Visok koeficijent determinacije, a niske vrijednosti pojedinačnih testova. Drugim riječima, kada je  $R^2$  visok, skupnim testom će se odbaciti hipoteza da su svi parametri u modelu jednaki 0, dok pojedini t-testovi pokazuju suprotno.
- Faktor inflacije varijance (*VIF*), multikolinearnost postoji ukoliko je  $VIF > 5$ .
- Toleranca (*TOL*) je ekvivalentna veličina faktoru inflacije varijance, a smatra se da multikolinearnost postoji ukoliko je  $TOL < 0.2$  [2].

Multikolinearnost postoji kada su dvije ili više nezavisnih varijabli međusobno korelirane.

## 6.2. Analiza ovisnosti intenziteta 85% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase

Ova analiza se provodi metodom višestruke stupanjske regresije sa sljedećim nezavisnim varijablama: duljina pristupnog pravca  $L_p$  (m), polumjer krivine  $R$  (m), duljina kružnog luka  $L_k$  (m), skretni kut  $\alpha$  ( $^\circ$ ) i uzdužni nagib  $s$  (%). Za provedbu analize korištene su najveće brzine na pravcima i najmanje brzine u krivinama. Nakon što su se u obzir uzeli samo segmenti dionice koji sadrže pravce duljine veće od 120 m, te kada su eliminirani segmenti s netočnim mjerenjima i oni koji nisu sadržavali usporenja, ostao je sveukupno 41 segment u oba pravca za analizu.

Crtanjem pojedinačnih dijagrama rasipanja promatrano je koje nezavisne varijable najbolje opisuju 85% intenzitet usporenja vozila. Primjenom višestruke stupanjske regresije u računalnom programu JASP, dobiven je konačni model koji ima jednu nezavisnu varijablu, a to je polumjer krivine, zapisan u obliku  $1/R$  (Slika 9.).



Slika 9. Ovisnost intenziteta 85% usporenja vozila  $a_{x,85}$  o polumjeru  $1/R$

Ostale analizirane varijable su uzete u obzir ali nisu uključene u model jer nisu pokazale statistički značajan utjecaj.

$$a_{x,85} = -0.386 - 38.873 \cdot \frac{1}{R} \quad (3)$$

Iz prethodno navedenog izraza može se zaključiti kako se intenzitet usporenja vozila smanjuje s povećanjem polumjera horizontalne krivine.

Tablica 2. Procjene pokazatelja reprezentativnosti modela 85% usporenja  $a_{x,85}$  - sažeti prikaz

**Model - sažeti prikaz <sup>b</sup>**

Model	R	R <sup>2</sup>	$\overline{R^2}$	Standardna pogreška procjene	Durbin-Watson
1	0.579	0.335	0.318	0.132	2.073
<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), 1/R					
<sup>b</sup> Zavisna varijabla: $a_{x,85}$					

Dobiveni model ima relativno male vrijednosti koeficijenta determinacije ( $R^2 = 0.335$ ), korigiranog koeficijenta determinacije ( $\overline{R^2} = 0.318$ ), a prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti usporenja vozila iznosi  $0.132 \text{ m/s}^2$  (Tablica 2.).

Već ove vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela upućuju na nepouzdanost modela, ali svakako će se detaljno ispitati reprezentativnost dobivenog modela.

Tablica 3. Tablica analize varijance (ANOVA) modela 85% usporenja  $a_{x,85}$ 

**ANOVA <sup>b</sup>**

Model		Broj stupnjeva slobode	Zbroj kvadrata odstupanja a	Srednje kvadratno odstupanje e	Empirijski F-omjer	p-vrijednost t
1	Regresijska funkcija (model)	1	0.342	0.342	19.660	< 0.001
	Rezidualno odstupanje	39	0.678	0.017		
	Ukupno odstupanje	40	1.019			
<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), 1/R						
<sup>b</sup> Zavisna varijabla: $a_{x,85}$						

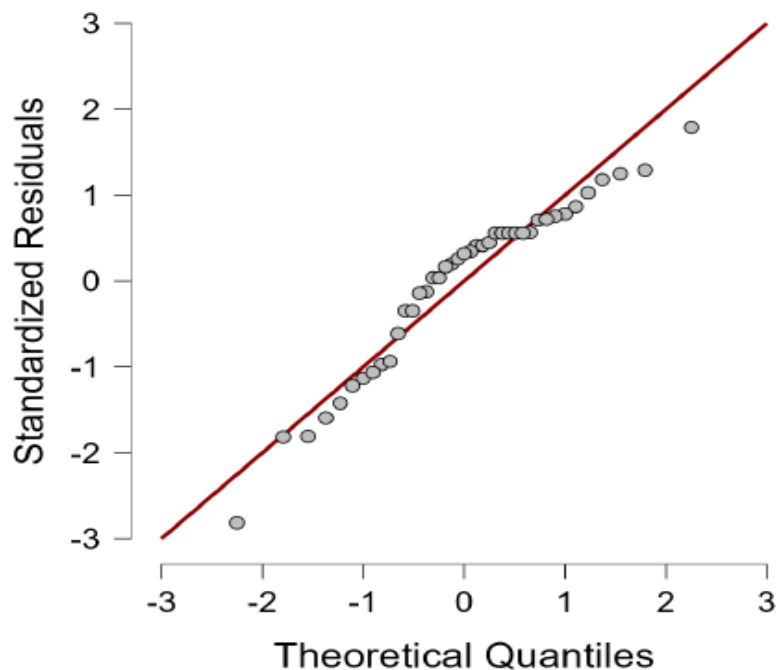
Na temelju podataka u prethodno spomenutoj tablici ANOVA (Tablica 3.) vidljivo je da model koji se proučava nije statistički značajan. Na temelju empirijskog F-omjera prikazanog u tablici, čija vrijednost iznosi 19.66 u usporedbi s kritičnom vrijednošću iz tablice F distribucije pri razini značajnosti od 5% ( $F_{0.05(40.1)} = 251.14$ ) [17] može se zaključiti da dobiveni model koji se proučava nije statistički značajan, iako je vrijednost empirijske razine značajnosti  $p < 0.001$ .

Na temelju pokazatelja reprezentativnosti modela vidljivo je da utjecaj polumjera iznosi 33,5% ( $R^2=0.335$ ), dok ostatak od 66,5% varijabilnosti intenziteta 85% usporenja nije bilo moguće objasniti ostalim analiziranim nezavisnim varijablama. Mogući razlog zbog čega jedan dio varijabilnosti usporenja nije bilo moguće objasniti modelom su obilježja svakog pojedinog vozača (stil vožnje, umor, duljina i svrha putovanja te niz drugih čimbenika) ali i ograničen broj podataka.

Na temelju podataka dobivenih računalnim programom JASP uočeno je da je p-vrijednost  $<0.001$  što kada usporedimo s teorijskom razinom značajnosti od 5% ukazuje da nezavisna varijabla, u ovom slučaju polumjer, značajno doprinosi sveukupnom modelu.

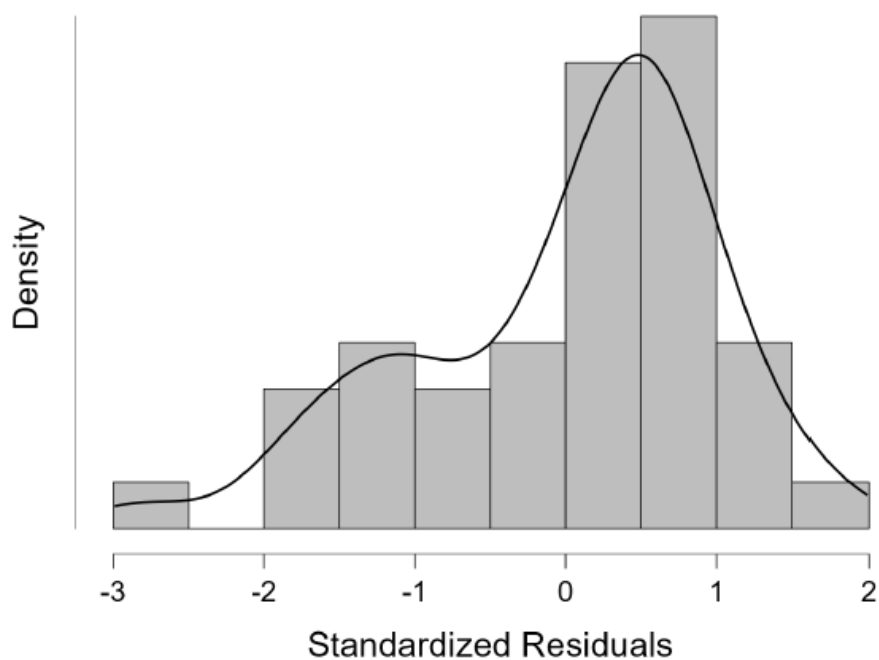
Durbin-Watson-ov test kaže da su slučajne pogreške međusobno nezavisne kada je vrijednost testa blizu 2. Svaka vrijednost manja od 1 ili veća od 3 ukazuje na nezadovoljenje pretpostavke. Budući da je vrijednost Durbin-Watson-ova testa 2.073 blizu vrijednosti 2, to ukazuje da su slučajne pogreške međusobno nezavisne.

Reprezentativnost modela dokazujemo i testiranjem polaznih pretpostavki. Testiranje prve pretpostavke provodi se grafički pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe, odnosno histograma frekvencija standardiziranih reziduala.



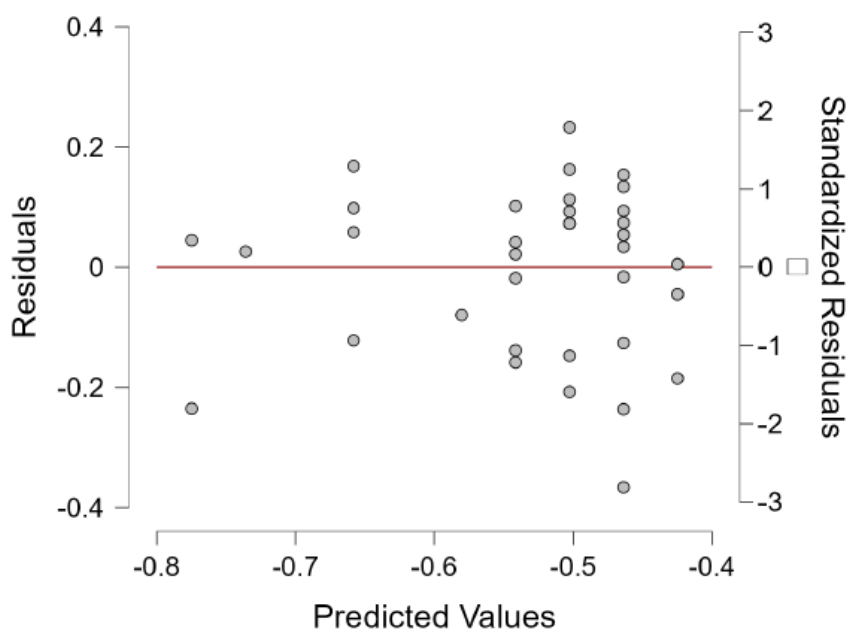
Slika 10. Papir vjerojatnosti normalne razdiobe

Na primjeru grafa vidljivo je da pogreške blago odstupaju od normalne razdiobe (Slika 10.).



Slika 11. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala

Usporedbom histograma frekvencija standardiziranih reziduala s grafom normalne razdiobe  $N(0,1)$  dolazi se do zaključka kako reziduali nisu normalno distribuirani (Slika 11.).



Slika 12. Odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala

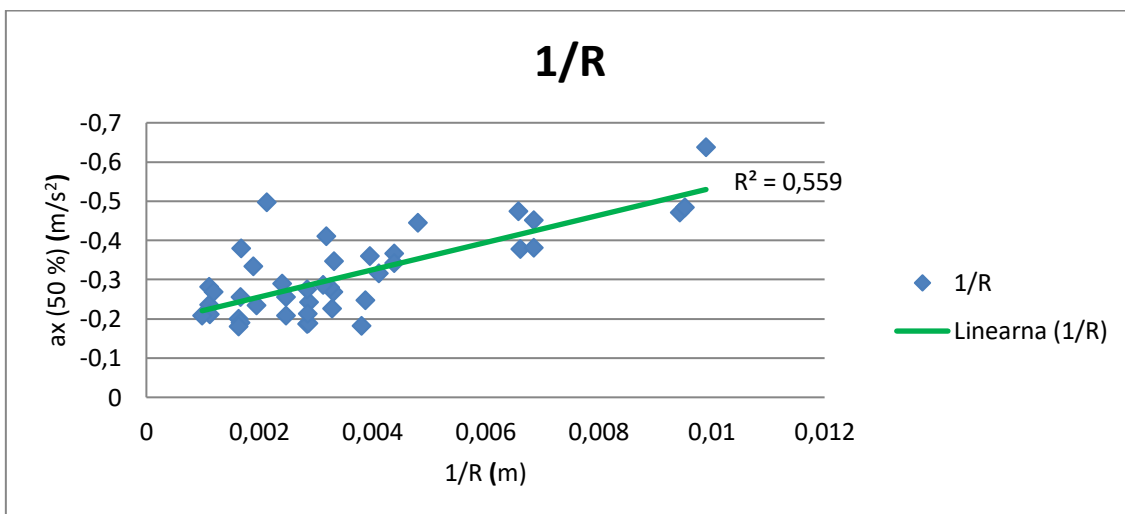
Svojstvo homoskedastičnosti u ovom primjeru je narušeno što se može uočiti na primjeru dijagrama (*Slika 12.*) budući da varijance pogrešaka rastu kako pada vrijednost zavisne varijable. Time dolazimo do zaključka da se varijanca ne može smatrati konstantom.

Zaključno, model intenziteta 85% usporenja pokazuje ovisnost o geometrijskim karakteristikama trase ceste, točnije utjecaj polumjera na model iznosi 33,5% dok ostalih 66,5% nije bilo moguće objasniti ostalim analiziranim varijablama te se iz tog razloga došlo do zaključka kako definirani model nije pouzdan za predviđanje 85 % usporenja vozila na prijelazu s pravca na horizontalnu krivinu.

### 6.3. Analiza ovisnosti intenziteta 50% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase

U nastavku rada analizira se ovisnost 50% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase, pri čemu analizirana dionica ostaje jednaka dionici promatranoj u prvoj analizi, jednako kao i sve ostale karakteristike analize ovisnosti usporenja.

Crtanjem pojedinačnih dijagrama rasipanja analizirano je koje nezavisne varijable najbolje opisuju analizu intenziteta 50% usporenja vozila. Primjenom višestruke stupanjske regresije u računalnom programu JASP, dobiven je konačni model koji ima jednu nezavisnu varijablu, a to je polumjer krivine, zapisan u obliku  $1/R$  (Slika 13.).



Slika 13. Ovisnost intenziteta 50% usporenja vozila  $a_{x,50}$  o polumjeru horizontalne krivine  $1/R$

$$a_{x,50} = -0.192 - 33.387 \cdot \frac{1}{R} \quad (4)$$

Iz prethodno navedenog izraza može se zaključiti kako se intenzitet usporenja vozila smanjuje s povećanjem polumjera horizontalne krivine.

Tablica 4. Procjene pokazatelja reprezentativnosti modela 50% usporenja  $a_{x,50}$ - sažeti prikaz

Model - sažeti prikaz <sup>b</sup>

Model	R	R <sup>2</sup>	$\overline{R^2}$	Standardna pogreška procjene	Durbin-Watson
1	0.734	0.538	0.526	0.074	2.768
<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), $1/R$					
<sup>b</sup> Zavisna varijabla: $a_{x,50}$					



Dobiveni model ima vrijednosti koeficijenta determinacije  $R^2 = 0.538$ , korigiranog koeficijenta determinacije  $\overline{R}^2 = 0.526$  te prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti usporenja vozila od  $0.074 \text{ m/s}^2$  (Tablica 4.).

Ove vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela također upućuju na nepouzdanost modela kao i u prethodnom primjeru, ali svakako će se detaljno ispitati reprezentativnost dobivenog modela.

Tablica 5. Tablica analize varijance (ANOVA) modela 50% usporenja  $a_{x,50}$

ANOVA <sup>b</sup>						
Model		Broj stupnjeva slobode	Zbroj kvadrata odstupanja	Srednje kvadratno odstupanje	Empirijski i F-omjer	p-vrijednost
1	Regresijska funkcija (model)	1	0.252	0.252	45.431	< 0.001
	Rezidualno odstupanje	39	0.216	0.006		
	Ukupno odstupanje	40	0.468			
<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), 1/R <sup>b</sup> Zavisna varijabla: $a_{x,50}$						

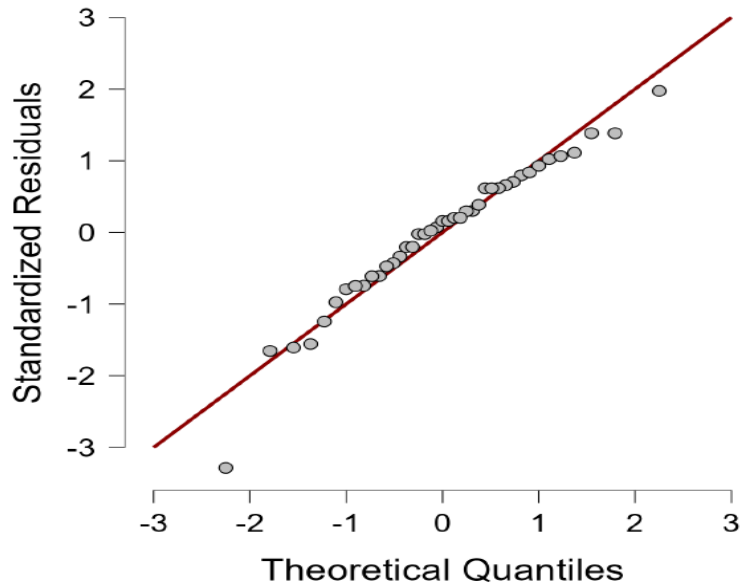
Rezultati Fisherovog F-testa prikazani u Tablici 5. uz pouzdanost od 95% pokazuju da promatrani model statistički nije značajan. Izračunata vrijednost empirijskog F-omjera (45.431) ne premašuje kritičnu vrijednost iz tablice F distribucije pri razini značajnosti od 5% ( $F_{0.05(40,1)}=251.14$  [17]), uz malu vrijednost empirijske razine značajnosti ukazuje da model nije statistički značajan.

Na temelju pokazatelja reprezentativnosti modela vidljivo je da utjecaj polumjera iznosi 53.8% ( $R^2=0.538$ ), dok ostatak od 46.2% varijabilnosti intenziteta 50% usporenja nije bilo moguće objasniti ovim nezavisnim varijablama.

Na temelju dobivenih podataka iz JASP-a uočeno je da je p-vrijednost <0.001 što kada usporedimo sa teorijskom razinom značajnosti od 0.05 ukazuje na zaključak da nezavisna varijabla, u ovom slučaju polumjer, značajno doprinosi sveukupnom modelu.

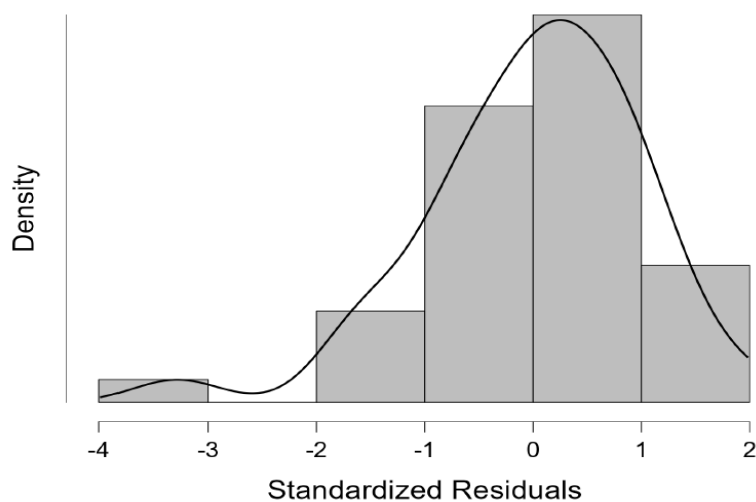
Budući da je vrijednost Durbin-Watson-ova testa 2.768 unutar intervala vrijednosti 1-3, to ukazuje da su slučajne pogreške međusobno nezavisne.

Reprezentativnost modela dodatno je potrebno dokazati testiranjem polaznih pretpostavki grafičkim putem. Testiranje prve pretpostavke provodi se pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe, odnosno histograma frekvencija standardiziranih reziduala.



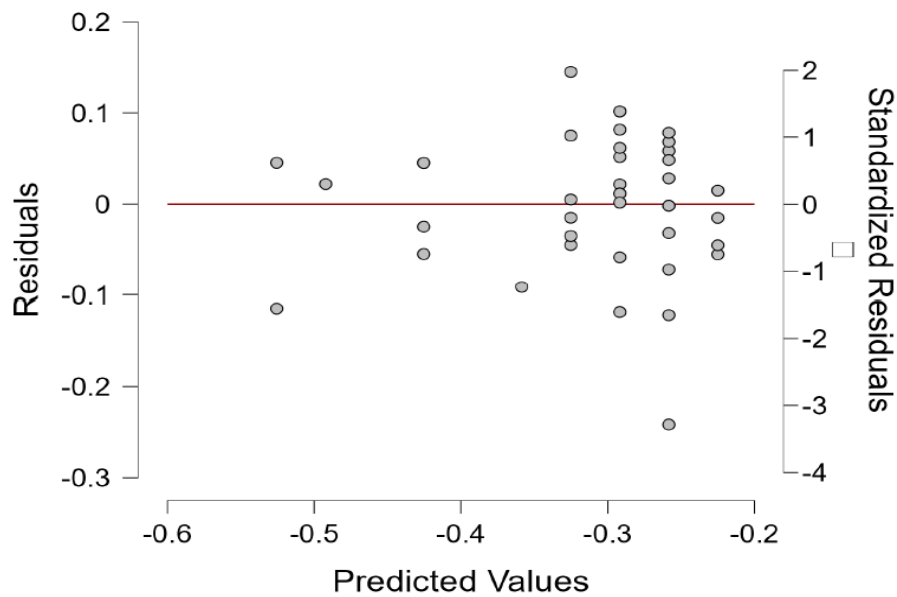
Slika 14. Papir vjerojatnosti normalne razdiobe

Na primjeru grafa vidljivo je da odstupanja pogrešaka od dijagonalne linije nije veliko što ukazuje na normalnu razdiobu slučajnih pogrešaka.(Slika 14.).



Slika 15. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala

Usporedbom histograma frekvencija standardiziranih reziduala s grafom normalne razdiobe  $N(0,1)$  dolazi se do zaključka kako su reziduali normalno distribuirani (Slika 15.).



Slika 16. Odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala

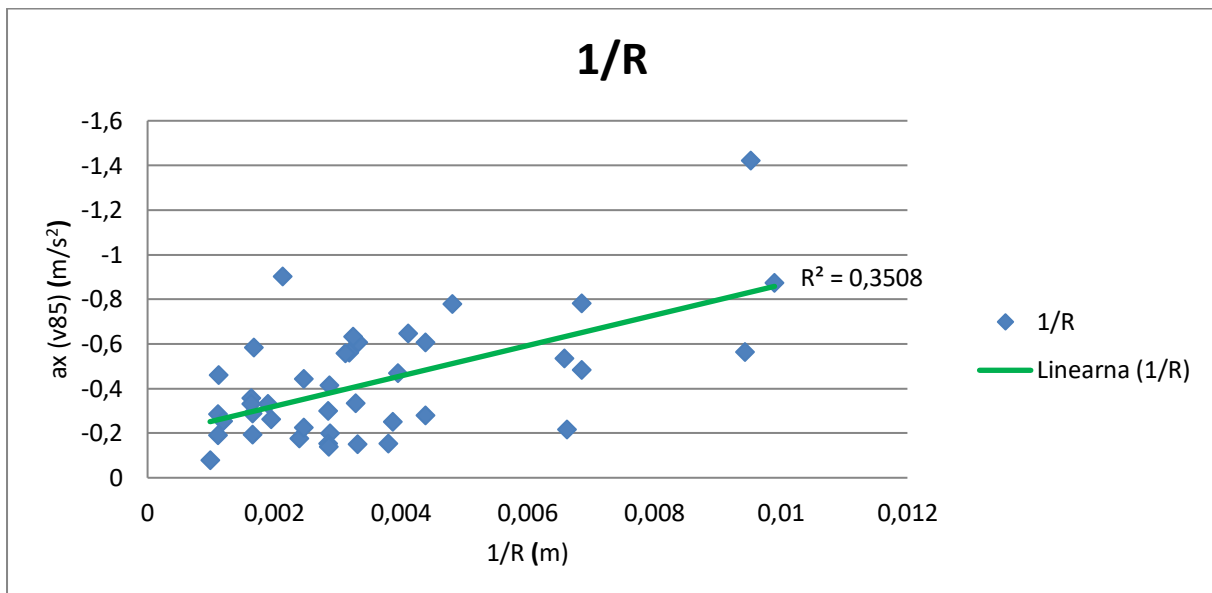
Pretpostavka o homoskedastičnosti varijance pogrešaka testirana je grafičkim prikazom (Slika 16.) koji prikazuje odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala, pri čemu je uočljivo da su standardizirani reziduali poprilično nejednoliko raspršeni oko nule. Također na ovom grafičkom prikazu vidljivo je da je svojstvo homoskedastičnosti narušeno budući da varijance pogrešaka rastu kako pada vrijednost zavisne varijable. Takav odnos dovodi do zaključka da se varijanca ne može smatrati konstantom.

Zaključno, model intenziteta 85% usporenja ovisan je o geometrijskim karakteristikama trase ceste. O jednoj je statistički značajnije ovisan (R) dok o drugima nije statistički značajan zbog čega nisu promatrane u modelu. Statističkom analizom došlo se zaključka kako definirani model nije pouzdan za predviđanje 85% usporenja vozila na prijelazu s pravca na horizontalnu krivinu.

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

Treći model analizira ovisnost intenziteta usporenja 85-postotnog vozača o geometrijskim karakteristikama trase, pri čemu analizirana dionica ostaje jednaka dionici promatranoj u prethodnim analizama, jednako kao i sve ostale karakteristike analize ovisnosti usporenja.

Oblikovanjem pojedinačnih dijagrama rasipanja razmatrano je koje nezavisne varijable najbolje opisuju analizu intenziteta usporenja 85-postotnog vozača. Primjenom višestruke stupanjke regresije dobiven je konačni model koji ima jednu nezavisnu varijablu, polumjer krivine zapisan u obliku  $1/R$  (Slika 17.).



Slika 17. Ovisnost intenziteta usporenja 85-postotnog vozača  $a_{x,v85}$  o polumjeru horizontalne krivine  $1/R$

$$a_{x,v85} = -0.189 - 66.372 \cdot \frac{1}{R} \quad (5)$$

Iz ovakvog izraza vidljivo je kako se intenzitet usporenja vozila smanjuje s povećanjem polumjera horizontalne krivine.

Tablica 6. Procjene pokazatelja reprezentativnosti modela usporenja 85-postotnog vozača  $a_{x,v85}$ 

<b>Model - sažeti prikaz <sup>b</sup></b>					
<b>Model</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b><math>\overline{R^2}</math></b>	<b>Standardna pogreška procjene</b>	<b>Durbin-Watson</b>
1	0.591	0.350	0.333	0.218	2.697
<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), 1/R <sup>b</sup> Zavisna varijabla: $a_{x,v85}$					

Dobiveni model ima vrijednosti koeficijenta determinacije  $R^2 = 0.350$ , kao i korigiranog koeficijenta determinacije  $\overline{R^2} = 0.333$  te prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti usporenja vozila od  $0.218 \text{ m/s}^2$  (Tablica 6.).

Dobivene vrijednosti procjena pokazatelja reprezentativnosti modela ukazuju na nepouzdanost modela, ali svakako će se detaljno ispitati reprezentativnost dobivenog modela.

Tablica 7. Tablica analize varijance (ANOVA) modela usporenja 85-postotnog vozača  $a_{x,v85}$ 

<b>ANOVA <sup>b</sup></b>						
<b>Model</b>	<b>Broj stupnjeva slobode</b>	<b>Zbroj kvadrata odstupanja</b>	<b>Srednje kvadratno odstupanje</b>	<b>Empirijski i F-omjer</b>	<b>p-vrijednost</b>	
1	Regresijska funkcija (model)	1	0.996	0.996	20.984	< 0.001
	Rezidualno odstupanje	39	1.851	0.047		
	Ukupno odstupanje	40	2.847			
<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), 1/R <sup>b</sup> Zavisna varijabla: $a_{x,v85}$						

Na temelju podataka tablici ANOVA (Tablica 7.) vidljivo je da model koji se proučava nije statistički značajan. Na temelju dobivenog F-omjera prikazanog u tablici, čija vrijednost iznosi 20.984 u usporedbi sa kritičnom vrijednošću iz tablice F distribucije pri razini značajnosti od 5% ( $F_{0.05(40,1)} = 251.14$ ) [17] može se zaključiti da dobiveni model koji se proučava nije statistički značajan, iako je vrijednost empirijske razine značajnosti ( $p < 0.001$ ).

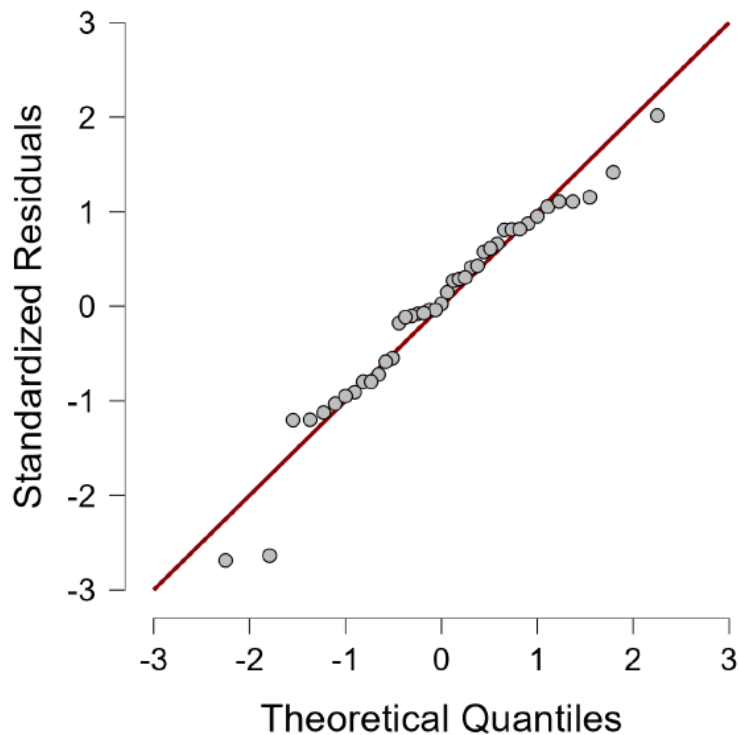
Na temelju pokazatelja reprezentativnosti modela vidljivo je da utjecaj polumjera iznosi 35% ( $R^2 = 0.350$ ), dok ostatak od 65% varijabilnosti intenziteta usporenja 85-postotnog vozača nije bilo moguće objasniti ovim nezavisnim varijablama. Glavni razlog zbog čega jedan dio

varijabli nije bilo moguće objasniti su osobne reference svakog pojedinog vozača (stil vožnje, umor, duljina i svrha putovanja te niz drugih čimbenika).

Na temelju dobivenih podataka uočeno je da p-vrijednost iznosi  $<0.001$  što kada usporedimo sa teorijskom razinom značajnosti od 0.05 ukazuje na zaključak da nezavisna varijabla, u ovom slučaju polumjer, značajno doprinosi sveukupnom modelu.

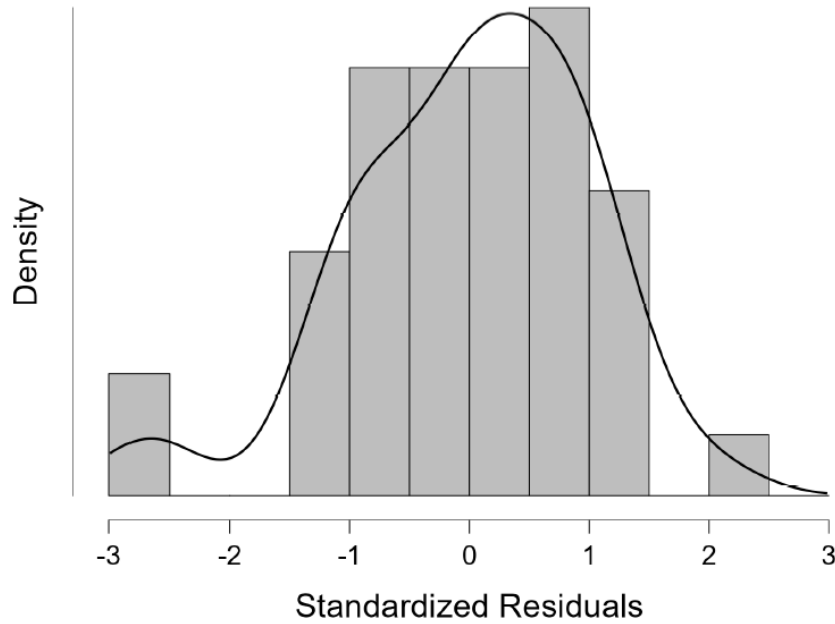
Budući da je vrijednost Durbin-Watson-ova testa 2.697 unutar intervala vrijednosti 1-3, to ukazuje da su slučajne pogreške međusobno nezavisne.

Reprezentativnost modela dodatno je potrebno dokazati testiranjem polaznih pretpostavki grafičkim putem. Testiranje prve pretpostavke provodi se pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe, odnosno histograma frekvencija standardiziranih reziduala.



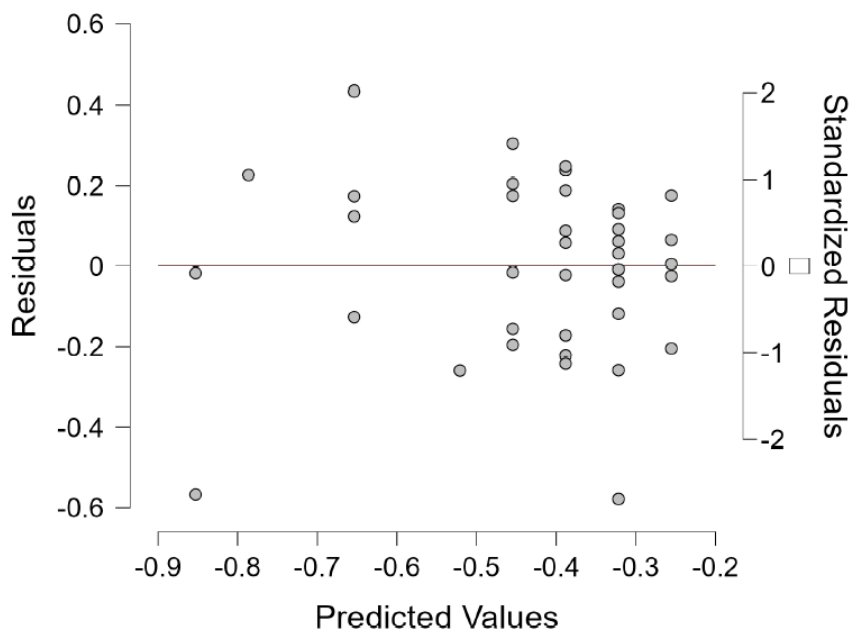
Slika 18. Papir vjerojatnosti normalne razdiobe

Odstupanja se ravnaju po dijagonalnoj liniji čime dolazimo do zaključka da su rezidualna odstupanja normalno distribuirana (Slika 18.).



Slika 19. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala

Usporedbom histograma frekvencija standardiziranih reziduala s grafom normalne razdiobe  $N(0,1)$  dolazi se do zaključka kako reziduali nisu normalno distribuirani (Slika 19.).



Slika 20. Odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala

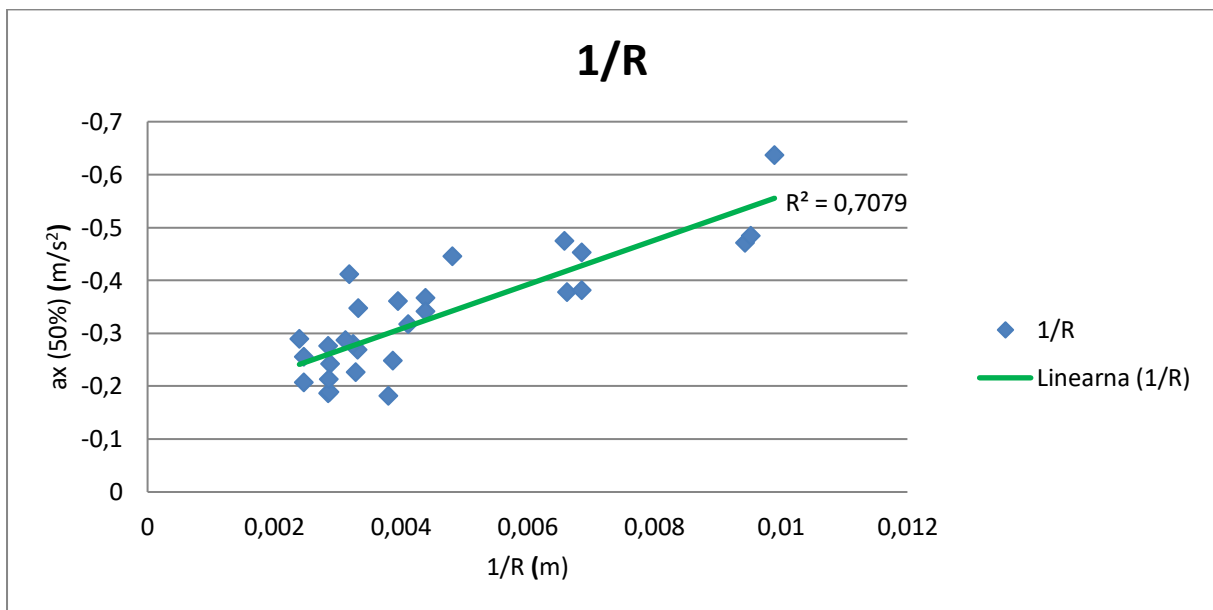
Promatrano svojstvo homoskedastičnosti u ovom primjeru nije narušeno što se najbolje može uočiti na primjeru odnosa vrijednosti reziduala i predviđenih vrijednosti (Slika 20.).

Zaključno, model intenziteta usporenja 85-postotnog vozača ovisan je o geometrijskim karakteristikama trase ceste. O jednoj je statistički značajnije ovisan (R) dok o drugima nije statistički značajan zbog čega nisu promatrane u modelu. Statističkom analizom došlo se zaključka kako definirani model nije pouzdan za predviđanje 85% usporenja vozila na prijelazu s pravca na horizontalnu krivinu.



## 6.5. Analiza ovisnosti intenziteta 50% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase za vrijednosti radijusa $R=0-420$ m

Sa ciljem boljeg objašnjenja ovisnosti intenziteta 50% usporenja o geometrijskim karakteristikama trase, u ovom dijelu analizira se ponovno 50% ovisnost s tim da su podaci uzeti kao i u prethodnim modelima ali do maksimalne vrijednosti radijusa  $R=420$  m. Nakon promatranja dijagrama rasipanja, a primjenom višestruke stupanjske regresije dobiven je model koji ima jednu nezavisnu varijablu, polumjer u obliku  $1/R$  (Slika 21.).



Slika 21. Ovisnost intenziteta usporenja 50-postotnog vozača  $a_{x,50}$  o polumjeru horizontalne krivine  $1/R$

$$a_{x,v85} = -0.141 - 41.861 \cdot \frac{1}{R} \quad (6)$$

Zaključak je isti kao i u prethodnim modelima, intenzitet usporenja se smanjuje kako se povećava polumjer horizontalne krivine.

Tablica 8. Procjene pokazatelja reprezentativnosti modela usporenja 50-postotnog vozača  $a_{x,50}$  - sažeti prikaz

**Model - sažeti prikaz <sup>b</sup>**

Model	R	R <sup>2</sup>	$\overline{R^2}$	Standardna pogreška procjene	Durbin-Watson
1	0.841	0.708	0.697	0.061	2.008

<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), 1/R  
<sup>b</sup> Zavisna varijabla:  $a_{x,50}$

Dobiveni model ima vrijednosti koeficijenta determinacije ( $R^2 = 0.708$ ), kao i korigiranog koeficijenta determinacije ( $\overline{R^2} = 0.697$ ) te prosječno odstupanje opaženih od očekivanih vrijednosti usporenja vozila od 0.061 m/s<sup>2</sup> (Tablica 8.).

Dobivene vrijednosti procjene pokazatelja reprezentativnosti modela ukazuju na djelomično pouzdan model budući da vrijednost koeficijenta determinacije ukazuje na srednje jaku vezu, ali svakako će se detaljno ispitati reprezentativnost dobivenog modela.

Tablica 9. Tablica analize varijance (ANOVA) modela 50% usporenja  $a_{x,50}$ 

**ANOVA <sup>b</sup>**

Model		Broj stupnjeva slobode	Zbroj kvadrata odstupanj a	Srednje kvadratno odstupanje e	Empirijski i F-omjer	P-vrijednost t
1	Regresijska funkcija (model)	1	0.238	0.238	63.026	< 0.001
	Rezidualno odstupanje	26	0.098	0.004		
	Ukupno odstupanje	27	0.336			

<sup>a</sup> Nezavisna varijabla: (konstanta), 1/R  
<sup>b</sup> Zavisna varijabla:  $a_{x,50}$

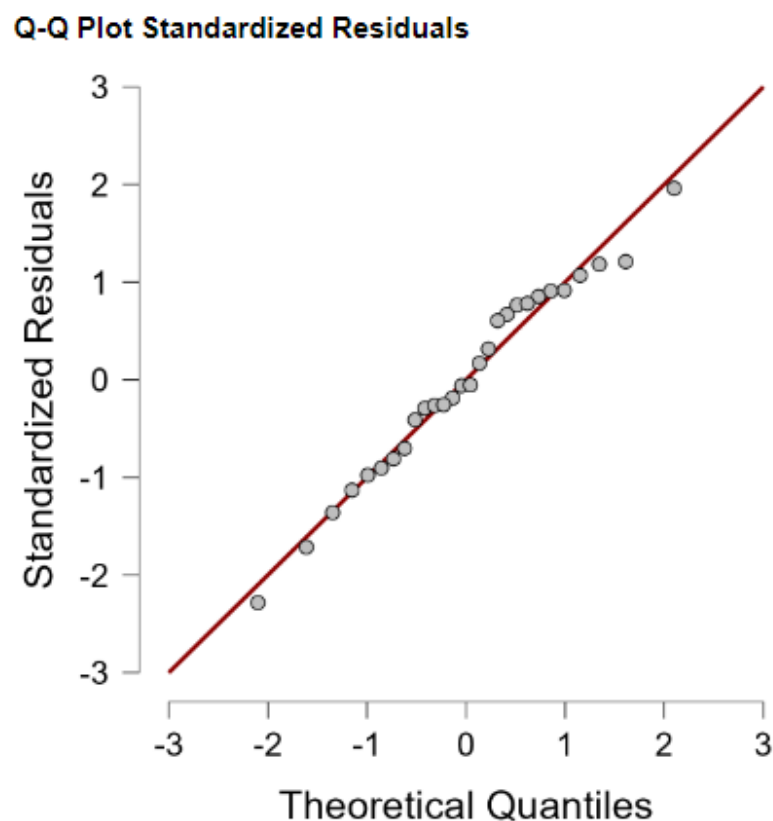
Na temelju podataka tablici ANOVA (Tablica 9.) vidljivo je da model koji se proučava nije statistički značajan. Na temelju dobivenog F-omjera prikazanog u tablici, čija vrijednost iznosi 63.026 u usporedbi sa kritičnom vrijednošću iz tablice F distribucije pri razini značajnosti od 5% ( $F_{0.05(27.1)} = 250.0951$ ) [17], može se zaključiti da dobiveni model koji se proučava nije statistički značajan, iako je vrijednost empirijske razine značajnosti  $p < 0.001$ .

Na temelju pokazatelja reprezentativnosti modela vidljivo je da utjecaj polumjera iznosi 70.8% ( $R^2=0.708$ ), dok ostatak od 29.2% varijabilnosti intenziteta 50% usporenja nije bilo moguće objasniti ovim nezavisnim varijablama.

Na temelju dobivenih podataka uočeno je da p-vrijednost iznosi  $<0.001$  što kada usporedimo sa teorijskom razinom značajnosti od 0.05 ukazuje na zaključak da nezavisna varijabla, u ovom slučaju polumjer, značajno doprinosi sveukupnom modelu.

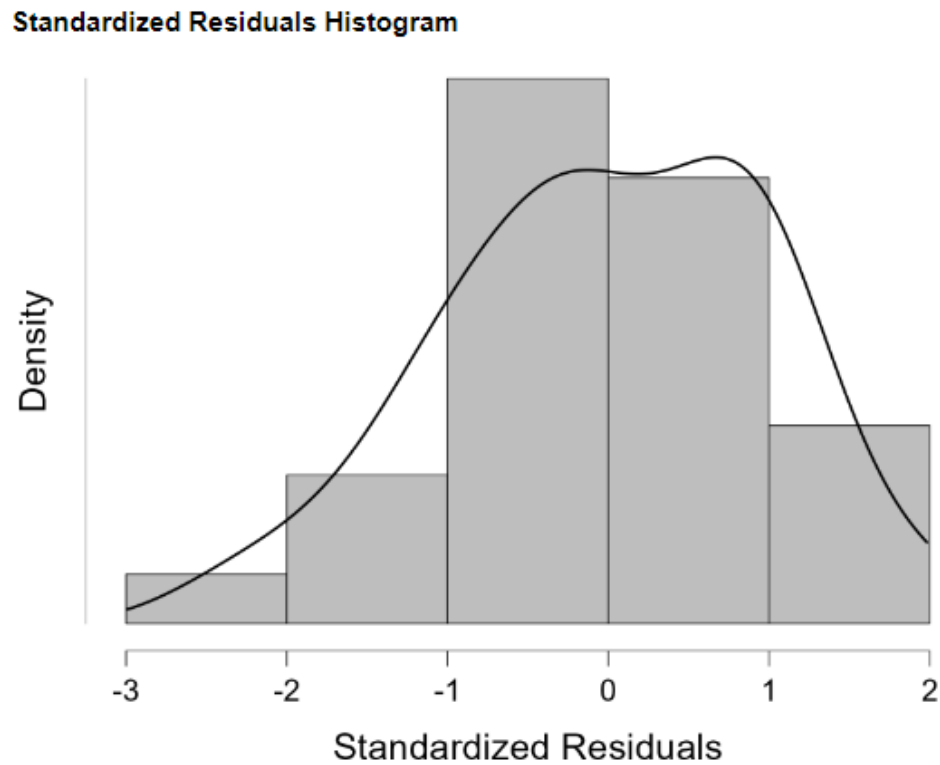
Budući da je vrijednost Durbin-Watson-ova testa 2.008 blizu vrijednosti 2, ukazuje da su slučajne pogreške međusobno nezavisne.

Reprezentativnost modela dodatno je potrebno dokazati testiranjem polaznih pretpostavki grafičkim putem. Testiranje prve pretpostavke provodi se pomoću papira vjerojatnosti normalne razdiobe, odnosno histograma frekvencija standardiziranih reziduala.



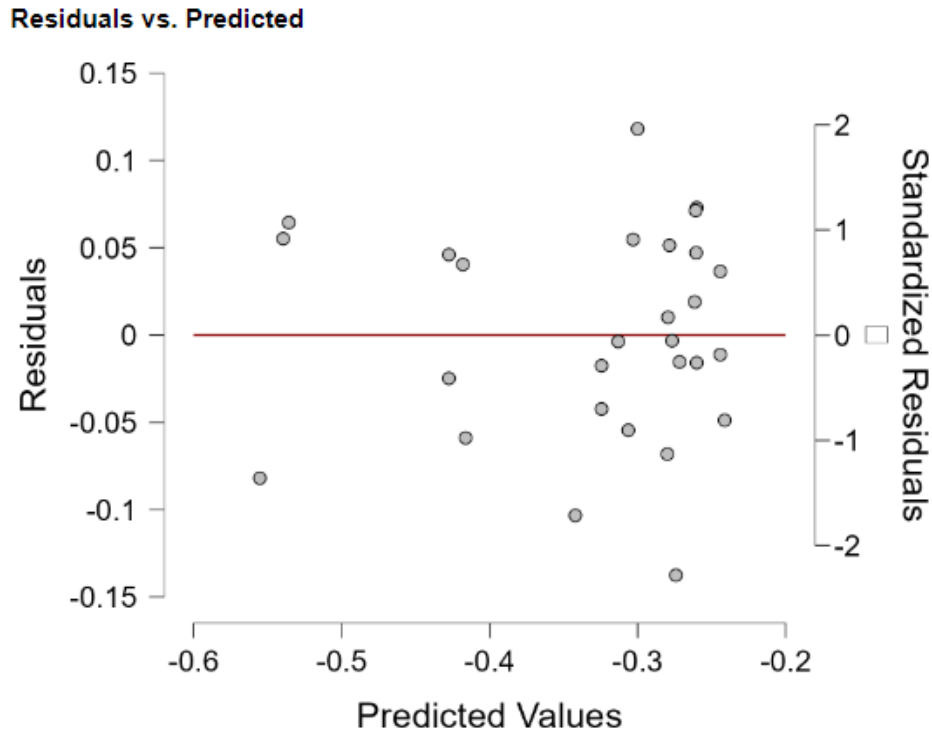
Slika 22. Papir vjerojatnosti normalne razdiobe

Na primjeru grafa vidljivo je da su pogreške slučajne te da se distribuiraju prema normalnoj razdiobi (Slika 22.).



*Slika 23. Histogram frekvencija standardiziranih reziduala*

Usporedbom histograma frekvencija standardiziranih reziduala sa grafom normalne razdiobe  $N(0,1)$  dolazi se do zaključka kako reziduali nisu normalno distribuirani (*Slika 23.*).



Slika 24. Odnos prognoziranih vrijednosti i standardiziranih reziduala

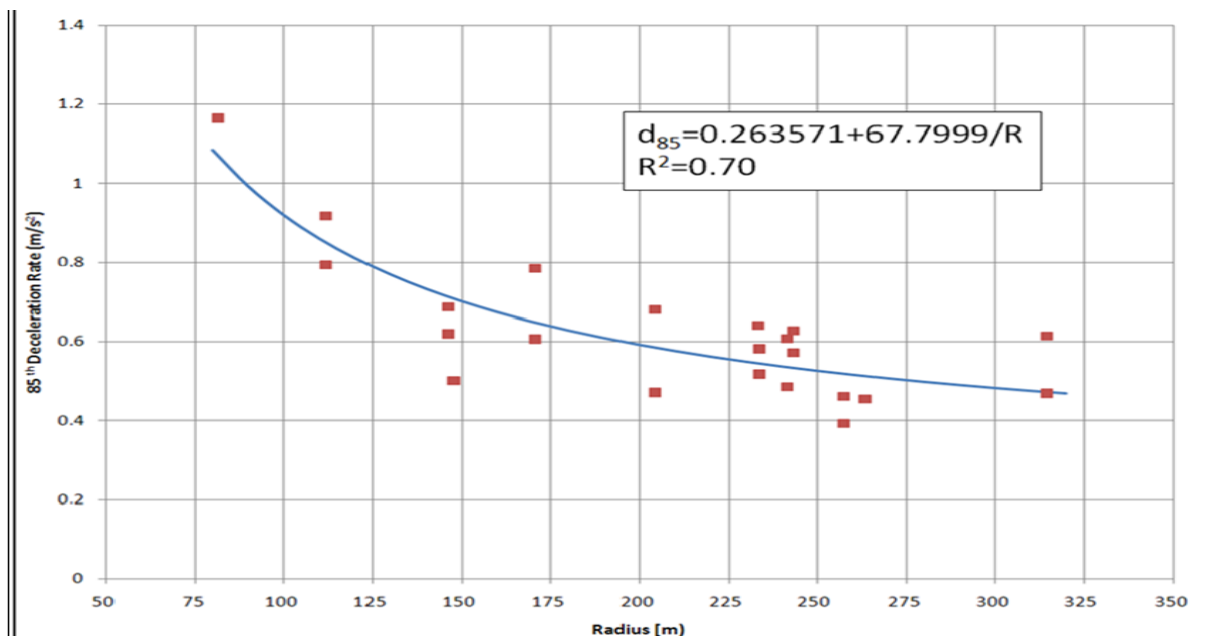
Budući da je svojstvo homoskedastičnosti zadovoljeno tek kada se promatrani graf sastoji od slučajnog niza točaka, neravnomjerno raspoređenih oko nule, promatrajući grafički prikaz (Slika 24.) uočeno je da je svojstvo homoskedastičnosti zadovoljeno.

Zaključno, model intenziteta 50% usporenja ovisan je o geometrijskim karakteristikama trase ceste. O jednoj je statistički značajnije ovisan (R) dok o drugima nije statistički značajan zbog čega nisu promatrane u modelu. Statističkom analizom došlo se zaključka kako definirani model nije pouzdan za predviđanje 50% usporenja vozila na prijelazu s pravca na horizontalnu krivinu.

## 7. USPOREDBA S PRIJAŠNJIM MODELIMA

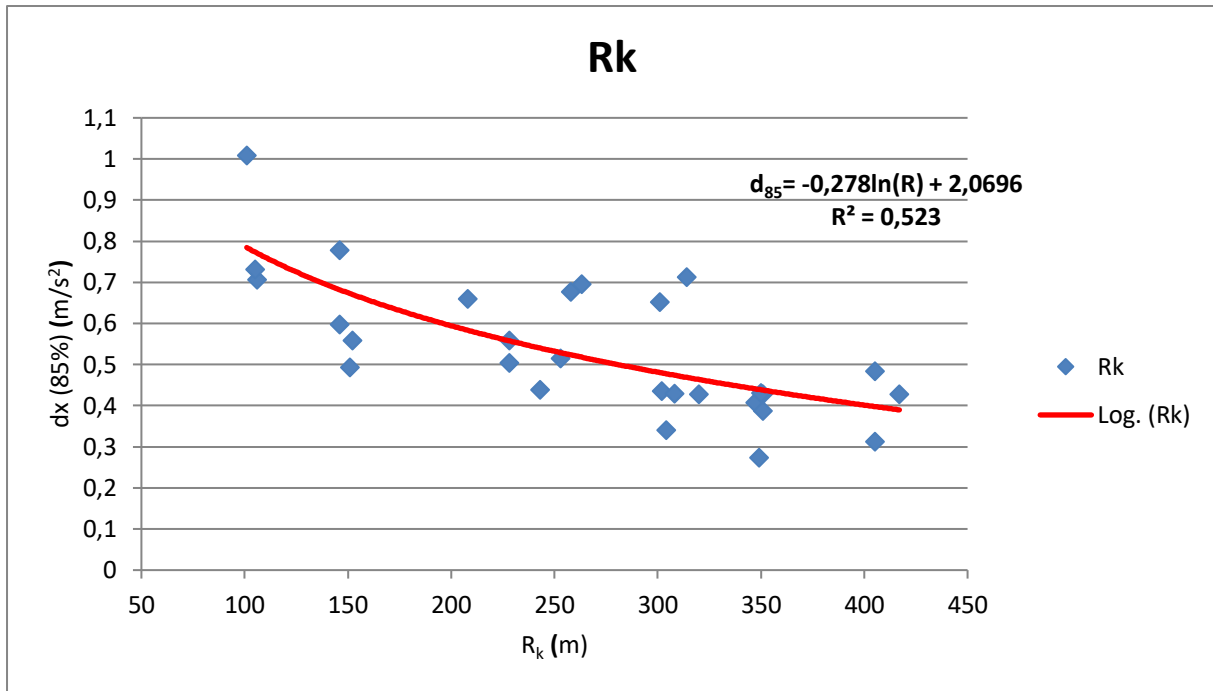
U istraživanju Pérez-Zuriaga [6] uočeno je da za blaže krivine radijus nije toliko značajna varijabla kao u krivinama malih radijusa. Iz tog razloga napravili su dodatan model sa radijusima veličine do 400 m kako bi točnije prikazali intenzitet usporenja vozača.

Na *Slici 25.* prikazan je odnos između zavisne i nezavisne varijable, odnosno radijusa i 85% usporenja vozača na pravcu duljine do 400 m, te dobivena vrijednost koeficijenta determinacije u iznosu od  $R^2 = 0.70$ .



*Slika 25. Model 85% usporenja vozača prema Perez-Zuriaga [6]*

Na *Slici 26.* prikazan je model 85% usporenja s radijusima do 420 m na promatranoj dionici Vrlika-Sinj te je dobivena vrijednost koeficijenta determinacije u iznosu od  $R^2 = 0.523$ .



Slika 26. Model 85% usporenja vozača na dionici Vrlika - Sinj

U Tablici 10. vidljiva je usporedba modela 85% usporenja vozača na primjeru promatrane dionice Vrlika-Sinj i modela 85% usporenja vozača iz Zuriaginog istraživanja [6].

Tablica 10. Usporedba rezultata intenziteta 85% usporenja vozača

R (m)	Vrlika - Sinj	Perez - Zuriaga
	$d_{85}$ (m/s <sup>2</sup> )	$d_{85}$ (m/s <sup>2</sup> )
	$d_{85} = -0.278\ln(R) + 2.0696$	$d_{85} = 0.263571 + 67.7999/R$
100	0.79	0.94
125	0.73	0.81
150	0.68	0.72
175	0.63	0.65
200	0.60	0.60
225	0.56	0.56
250	0.53	0.53
275	0.51	0.51
300	0.48	0.49

Na temelju dobivenih vrijednosti koeficijenta determinacije  $R^2$  moguće je zaključiti da je odnos zavisne i nezavisne varijable bolje opisan na primjeru Perez-Zuriaga budući da je spomenuta vrijednost koeficijenta determinacije bliža 1.

## 8. ZAKLJUČAK

Suvremeni način življenja, napredak i razvoj u svim poljima života utjecali su na razvoj i modernizaciju tehnologije dostupne svima, pa tako i one značajne za napredak i razvoj kvalitete i sigurnosti prometa na cesti. Dosadašnji modeli usporenja vozila bili su dobra osnova za razvoj novih, boljih i pouzdanijih modela usporenja zahvaljujući boljoj opremi, alatima, uređajima te računalnim i softverskim programima za obradu podataka.

Prvi modeli i analize definirani su prikupljanjem točkastih podataka, ali isključivo iz razloga jer tadašnja tehnologija nije bila dostatna da bi podatke mogla prikupljati kontinuirano. Danas je najznačajnije sredstvo u prikupljanju kontinuiranih, relevantnih podataka upravo GPS uređaj. Prethodnim analizama usporenja Altamire [7] i Crismana [9] došlo se do zaključka da radijus horizontalne krivine ima najznačajniji utjecaj na usporenje vozila pri prijelazu sa pravca u horizontalnu krivinu, dok je analiza usporenja Zuriage [6] pokazala približno jednak utjecaj radijusa horizontalne krivine i skretnog kuta.

U ovom radu se provela regresijska analiza četiri različita modela: model 85% usporenja, model 50% usporenja, model usporenja 85% vozača te ponovno model 50% usporenja s vrijednostima radijusa do  $R=420$  m. Regresijskom analizom prikupljenih podataka na primjeru modela analize 85% usporenja vozila došlo se do zaključka da je isti ovisan o samo jednoj geometrijskoj karakteristici, odnosno o polumjeru horizontalne krivine. Na temelju provedene analize može se zaključiti kako se intenzitet usporenja vozila smanjuje s povećanjem polumjera horizontalne krivine, odnosno intenzitet usporenja se povećava kada se smanjuje polumjer horizontalne krivine. Na temelju pokazatelja dobivenih provođenjem regresijske analize zaključuje se o nepouzdanosti modela za predviđanje 85% usporenja vozila na prijelazu s pravca u horizontalnu krivinu.

Drugi model analizira ovisnost intenziteta 50% usporenja vozila o geometrijskim karakteristikama promatrane trase. Kod ovog modela je vidljivo kao i kod prvog promatranog da je ovisan o samo jednoj geometrijskoj karakteristici, a to je opet polumjer horizontalne krivine. Regresijskom analizom došlo se do zaključka da model 50% usporenja vozila na temelju procijene pokazatelja reprezentativnosti ukazuje na nepouzdanost.



Treći model ovog istraživanja analizira ovisnost usporenja 85% vozača o geometrijskim karakteristikama te također donosimo zaključak o nepouzdanosti modela zbog malih vrijednosti pokazatelja reprezentativnosti.

Nakon promatranja rezultata u sva 3 prethodna modela ovog istraživanja uočeno je da je u sva tri modela dobivena zajednička nezavisna varijabla, polumjer horizontalne krivine. Samim time može se zaključiti da sigurno postoji utjecaj polumjera horizontalne krivine na intenzitet usporenja vozila ali zbog ograničenog uzorka regresijska analiza nije rezultirala statistički značajnim modelom.

S obzirom da je vidljivo da nijedan model nije statistički značajan, ali je utjecaj nezavisne varijable ( $1/R$ ) na zavisnu najveći u modelu koji opisuje intenzitet 50% usporenja, a detaljnijim promatranjem dijagrama raspršenosti tog modela, po uzoru na Zuriagu (5), uočeno je kako krivulja intenziteta usporenja za manje radijuse ima veći nagib, dok za veće radijuse ima manji nagib, što bi značilo da radijus kao nezavisna varijabla ima veći utjecaj na intenzitet usporenja sa svojim manjim vrijednostima nego sa većim.

Iz tog razloga je napravljen još jedan model intenziteta 50% usporenja ali sa vrijednostima radijusa do maksimalnih  $R=420$  m. Analiza je također pokazala nepouzdanost modela ali je povećan utjecaj nezavisne varijable na zavisnu u odnosu na prethodne modele u ovom istraživanju, te je smanjen postotak varijabilnosti 50% usporenja kojeg nije moguće objasniti ovim varijablama na 29,2%.

## LITERATURA

- [1] Republika Hrvatska; Ministarstvo unutarnjih poslova, Bilten o sigurnosti cestovnog prometa, 2019.
- [2] Cvitanić, D., Vukoje, B., Breški, D., Metode za osiguranje konzistencije toka trase, *Građevinar* 64 (2012) 5
- [3] Vukoje, B., Operativne brzine u horizontalnim krivinama, Prvi skup mladih istraživača iz područja građevinarstva, arhitekture i geodezije, ZAJEDNIČKI TEMELJI, Split, 2013.
- [4] Maljković B., Unapređenje kriterija konzistencije u horizontalnim krivinama vangradskih dvotračnih cesta uz primjenu bicikl-modela vozila te realnih parametara ponašanja vozača [Disertacija], Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2021.
- [5] Republika Hrvatska; Ministarstvo pomorstva, prometa i veza, Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/2001)
- [6] Pérez Zuriaga, AM.; García García, A.; Camacho-Torregrosa, FJ.; D'attoma, P. (2010). Modeling Operating Speed and Deceleration on Two-Lane Rural Roads with Global Positioning System Data. *Transportation Research Record*. 2171:11-20. doi:10.3141/2171-02
- [7] Altamira, A.; García, Y.; Echaveguren, T. and Marcet, J., Acceleration and Deceleration Patterns on Horizontal Curves and Their Tangents on Two-Lane Rural Roads, 2014.
- [8] Swiss Association of Road Specialists (Vereinigung Schweizerrischer Strassenfachleute VSS). Swiss Norm SN 640 080 a/b, Speed as a Design Element of the horizontal alignment, Zurich, Swizerland, 1981.
- [9] Crisman, B., Perco, P., Robba, A., Roberti, R., Deceleration Model for Two-Lane Rural Roads, *Advances in Transportation Studies an international Journal* Section A 11, 2007
- [10] Ministry of Infrastructures and Transportation. Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, D.M. 05/11/2001, Italy, 2001.
- [11] Lamm R., E.M. Choueiri, J.C. Hayward, A. Paluri. Possible Design Procedure To Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Roads. *Transportation Research Record*, No. 1195. Transportation Research Board; National Research Council, Washington D.C., 1988.

- [12] Perco, P., Robba, A., Evaluation of the Deceleration Rate for the Operating Speed-Profile Model. Proceedings of the 3rd International SIIV Congress, Bari, Italy, 2005.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Yadav, G., Dhamaniya, A., Performance Evaluation of Urban Roadway Links Using V-Box, Recent Advances in Traffic Engineering, 2018.
- [16] Đipalo, Z., Idejno rješenje rekonstrukcije državne ceste D1 na području obilaznice Sinja i Hrvaca, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Katedra za prometnice, 2016.
- [17] F Distribution Tables:  
[http://www.socr.ucla.edu/Applets.dir/F\\_Table.html](http://www.socr.ucla.edu/Applets.dir/F_Table.html)

## **PRILOZI**

## Prilog 1 : Prikaz promatranih segmenata dionice

	$L_p$	$\ln(L_p)$	$L_k$	$\ln(L_k)$	$R_k$	$1/R$	$\ln(R_k)$	$\alpha$	$\ln(\alpha)$	$s_p$	$s_k$	$q$	$ax (85\%)$	$ax (50\%)$	$ax (V_{85})$
	m	m	m	m	m	m	m	(°)	(°)	(%)	(%)	(%)	$m/s^2$	$m/s^2$	$m/s^2$
SEGMENT p7 - R7	135,86	4,91	152,24	5,03	101	0,009901	4,62	101	4,62	-3	-1 do 4,5	5,4	-1,00939	-0,6372	-0,87435
SEGMENT p18 - R18	336,65	5,82	101,14	4,62	243	0,004115	5,49	24	3,18	4 do -0,4	-0,4	2,5	-0,43837	-0,31676	-0,64738
SEGMENT p19 - R19	123,68	4,82	105,96	4,66	106	0,009434	4,66	67	4,20	0,7	0,7	3,8	-0,706	-0,47131	-0,56369
SEGMENT p32 - R32	201,21	5,30	219,36	5,39	597	0,001675	6,39	21	3,04	4	0,5	1	-0,58525	-0,38027	-0,58492
SEGMENT p44 - R44	122,72	4,81	315,78	5,76	613	0,001631	6,42	30	3,40	-0,3	0,3 do -0,8	3,3	-0,32838	-0,19999	-0,35841
SEGMENT p45 - R45	683,31	6,53	202,14	5,31	347	0,002882	5,85	33	3,50	-0,5	-0,7	2	-0,40698	-0,24243	-0,19989
SEGMENT p47 - R47	227,68	5,43	202,73	5,31	314	0,003185	5,75	37	3,61	-0,5	0 do -4	2	-0,71329	-0,41165	-0,56232
SEGMENT p48 - R48	127,05	4,84	227,09	5,43	151	0,006623	5,02	102	4,62	-5	-5,5	4,4	-0,49314	-0,37761	-0,21617
SEGMENT p53 - R53	366,27	5,90	538,61	6,29	602	0,001661	6,40	51	3,93	0	0 do -4,3	2,7	-0,39206	-0,25591	-0,28695
SEGMENT p54 - R54	135,04	4,91	470,5	6,15	351	0,002849	5,86	83	4,42	-4,3	-4,3 do 2	2,9	-0,38723	-0,18715	-0,30103
SEGMENT p55 - R55	470,33	6,15	140,53	4,95	304	0,003289	5,72	32	3,47	-2,5	-2,5 do 2	3,6	-0,34012	-0,2271	-0,33437
SEGMENT p58 - R58	188,41	5,24	114,92	4,74	513	0,001949	6,24	13	2,56	-2,5	4	2,1	-0,41209	-0,23475	-0,26393
SEGMENT p60 - R60	207,34	5,33	141,36	4,95	903	0,001107	6,81	9	2,20	-0,5	4	2	-0,47122	-0,23702	-0,18959
SEGMENT p61 - R61	220,49	5,40	150,4	5,01	527	0,001898	6,27	16	2,77	-4	1	3,2	-0,40784	-0,33467	-0,33092
SEGMENT p63 - R63	204,85	5,32	228,71	5,43	405	0,002469	6,00	36	3,58	2,5	2,5	2,9	-0,48394	-0,20771	-0,44258
SEGMENT p64 - R64	143,08	4,96	111,51	4,71	146	0,006849	4,98	45	3,81	2	2	4,4	-0,59816	-0,45232	-0,48274
SEGMENT p65 - R65	173,6	5,16	274,04	5,61	301	0,003322	5,71	52	3,95	3,5	3,5 do -2	2,4	-0,65182	-0,34803	-0,60782
SEGMENT p69 - R69	209,96	5,35	194,06	5,27	302	0,003311	5,71	36	3,58	-3	-3	2,5	-0,43494	-0,26922	-0,1496
SEGMENT p71 - R71	154,63	5,04	123,33	4,81	417	0,002398	6,03	17	2,83	4,5	4	1,3	-0,42722	-0,29001	-0,17739
SEGMENT p78 - R78	322,45	5,78	55,4	4,01	152	0,006579	5,02	20	3,00	-2,5	-0,8	1,5	-0,55807	-0,47506	-0,53447
SEGMENT p98 - R97	135,86	4,91	215,42	5,37	105	0,009524	4,65	21	3,04	1,5	1,5	3,1	-0,73192	-0,48432	-1,4229
SEGMENT p77 - R76	123,68	4,82	101,14	4,62	228	0,004386	5,43	12	2,48	-3	-1,5	1,6	-0,50413	-0,36674	-0,27972
SEGMENT p71 - R70	152,51	5,03	66,05	4,19	258	0,003876	5,55	31	3,43	4,5	-0,5	2,8	-0,67677	-0,24833	-0,25104
SEGMENT p69 - R68	201,21	5,30	134,36	4,90	228	0,004386	5,43	20	3,00	-3	-2	5,7	-0,55831	-0,34195	-0,60753
SEGMENT p65 - R64	167,08	5,12	264,31	5,58	146	0,006849	4,98	45	3,81	3,5	2	4,4	-0,77786	-0,38146	-0,78107
SEGMENT p64 - R63	122,72	4,81	283,29	5,65	405	0,002469	6,00	36	3,58	2	2,5	2,9	-0,31258	-0,25535	-0,22515
SEGMENT p63 - R62	683,31	6,53	315,78	5,76	349	0,002865	5,86	73	4,29	2,5	-4,7 do 4,5	3,2	-0,27333	-0,18948	-0,4142
SEGMENT p61 - R60	227,68	5,43	205,2	5,32	903	0,001107	6,81	9	2,20	-4	4	2	-0,42279	-0,28148	-0,28432
SEGMENT p60 - R59	127,05	4,84	202,73	5,31	308	0,003247	5,73	46	3,83	-0,5	3 do -0,3	3,1	-0,42961	-0,27996	-0,63275
SEGMENT p58 - R57	366,27	5,90	248,18	5,51	208	0,004808	5,34	41	3,71	-2,5	-0,5	3,7	-0,65939	-0,44532	-0,77974
SEGMENT p55 - R54	135,04	4,91	538,61	6,29	351	0,002849	5,86	83	4,42	-2,5	-4,3 do 2	2,9	-0,42736	-0,27593	-0,15327
SEGMENT p54 - R53	470,33	6,15	470,5	6,15	602	0,001661	6,40	51	3,93	-4,3	0 do -4,3	2,7	-0,69802	-0,19061	-0,19482
SEGMENT p53 - R52	188,41	5,24	116,68	4,76	893	0,00112	6,79	16	2,77	0	-1,5	2,3	-0,47038	-0,21188	-0,4597
SEGMENT p48 - R47	207,34	5,33	221,15	5,40	320	0,003125	5,77	37	3,61	-5	0 do -4	2	-0,42866	-0,287	-0,55903
SEGMENT p47 - R46	220,49	5,40	141,36	4,95	843	0,001186	6,74	14	2,64	-0,5	-0,7	2,8	-0,6089	-0,26883	-0,25375
SEGMENT p45 - R44	204,85	5,32	440,15	6,09	613	0,001631	6,42	30	3,40	-0,5	0,3 do -0,8	3,3	-0,36828	-0,18055	-0,33211
SEGMENT p44 - R43	143,08	4,96	228,71	5,43	1013	0,000987	6,92	16	2,77	-0,3	0,4	2,5	-0,42116	-0,20801	-0,07932
SEGMENT p43 - R42	173,6	5,16	111,51	4,71	253	0,003953	5,53	59	4,08	0,3	0,3	3,6	-0,51536	-0,36077	-0,46841
SEGMENT p32 - R31	209,96	5,35	45,08	3,81	263	0,003802	5,57	30	3,40	4	-1 do 4,5	4	-0,69555	-0,18189	-0,15466
SEGMENT p30 - R29	154,63	5,04	106,3	4,67	470	0,002128	6,15	8	2,08	1 do -1	3,5	4,2	-0,8323	-0,49672	-0,90254
SEGMENT p18 - R17	322,45	5,78	58,5	4,07	350	0,002857	5,86	23	3,14	4 do -0,4	4,3	2,7	-0,43059	-0,21329	-0,13805