

# Analiza ponašanja vozila u ispitnoj proceduri s vertikalnom pobudom

---

**Abičić, Livia**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:780528>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-07**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Livia Abičić**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Goran Šagi, dipl. ing.

Student:

Livia Abičić

Zagreb, 2019.

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.*

*Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Goranu Šagiju na korisnim savjetima, podršci, prenesenom znanju i izdvojenom vremenu.*

*Posebno se zahvaljujem roditeljima, majci Svetlani i ocu Ivici, i sestri Ramoni na moralnoj i financijskoj podršci te najviše na strpljenju.*

*Rad posvećujem bratu Bojanu.*

*Livia Abičić*





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Livia Abičić**

Mat. br.: 0035194899

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza ponašanja vozila u ispitnoj proceduri s vertikalnom pobudom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of vehicle behaviour in a test procedure with vertical excitation**

Opis zadatka:

Računalne simulacije danas su nezaobilazne u procesu razvoja vozila, njegovih podsustava i komponenata. U ovom radu potrebno je primjenom programskog paketa za analizu dinamike vozila analizirati utjecaj osnovnih parametara vozila i brzine vožnje na ponašanje vozila prilikom prelaska preko različitih oblika umjetnih prepreka (izbočina) na cestama, a koje služe za smirivanje (usporavanje) prometa.

U okviru završnog rada potrebno je:

- Prikazati zakonsko uređenje područja signalizacije i opreme za smirivanje prometa.
- Prikazati primjere (iz literature) simulacijskih modela za analizu dinamike vozila u ispitnim procedurama s vertikalnom pobudom te navesti podatke o složenosti numeričkih modela, podatke o potrebnim parametrima za zadavanje modela i podatke o mogućnostima tih simulacijskih modela.
- Odrediti najznačajnije parametre koji utječu na ponašanje vozila i dinamičke karakteristike koje služe za ocjenu ponašanja vozila u procedurama s vertikalnom pobudom.
- Napraviti pregled oblika umjetnih prepreka za smirivanje prometa.
- Izraditi odgovarajuće modele vozila i ispitnih procedura u programskom paketu CarSim® te simulirati prelazak preko različitih oblika umjetnih prepreka za smirivanje prometa različitim brzinama vožnje.
- Prikazati rezultate simulacija, analizirati rezultate i donijeti zaključke o utjecaju parametara vozila, brzine vožnje i oblika umjetne prepreke na ponašanje vozila.

Pri izradi se treba pridržavati uobičajenih pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
29. studenog 2018.

Rok predaje rada:  
**1. rok:** 22. veljače 2019.  
**2. rok (izvanredni):** 28. lipnja 2019.  
**3. rok:** 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok:** 25.2. - 1.3. 2019.  
**2. rok (izvanredni):** 2.7. 2019.  
**3. rok:** 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Goran Šagi

Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK .....	VII
1. UVOD .....	1
1.1. Mjere za smirivanje prometa .....	1
1.2. Zakonsko uređenje područja signalizacije i opreme za smirivanje prometa .....	2
1.2.1. Optičke bijele crte upozorenja .....	2
1.2.2. Trake za zvučno upozoravanje vozača .....	3
1.2.3. Vibracijske trake .....	4
1.2.4. Umjetne izbočine .....	5
1.2.5. Uzdignute plohe .....	6
2. VIBRACIJSKI MODELI VERTIKALNE DINAMIKE VOZILA .....	10
2.1. Vertikalna dinamika .....	11
2.2. Vibracijski modeli vozila .....	12
2.2.1. Četvrtinski model vozila .....	12
2.2.2. Ravninski model vozila .....	16
2.2.3. Prostorni model vozila .....	19
3. PARAMETRI KOJI UTJEČU NA PONAŠANJE VOZILA .....	21
4. PREGLED OBLIKA UMJETNIH PREPREKA ZA SMIRIVANJE PROMETA .....	22
4.1. Umjetne izbočine .....	22
4.2. Uzdignute plohe .....	23
4.3. Primjeri nepravilno postavljenih i dotrajalih prepreka za smirivanje prometa .....	25
5. REZULTATI I ANALIZA SIMULACIJA .....	27
5.1. Usporedba umjetnih izbočina različitih dimenzija pri različitim brzinama prelaska .....	29
5.2. Usporedba prelaska vozila preko umjetnih izbočina odgovarajućom brzinom .....	33
5.3. Usporedba umjetnih izbočina različitih dimenzija postavljenih u istoj zoni ograničenja brzine .....	37
5.4. Usporedba prelaska preko umjetne izbočine i uzdignute plohe istih dimenzija istom brzinom .....	40
5.5. Usporedba uzdignutih ploha različitih dimenzija postavljenih u istoj zoni ograničenja brzine .....	44
5.6. Promjena iznosa ovješene mase vozila .....	48
5.7. Promjena dimenzija kotača vozila .....	52
5.8. Promjena iznosa krutosti opruga ovjesa .....	56
5.9. Pojava odvajanja kotača od podloge .....	59
6. ZAKLJUČAK .....	61
LITERATURA .....	62
PRILOZI .....	63

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Prvi uspornik prometa u Zagrebu postavljen na Horvaćanskoj cesti .....	1
Slika 2. K50 - Optičke bijele crte upozorenja.....	3
Slika 3. K52.....	3
Slika 4. K52 - Trake za zvučno upozoravanje .....	4
Slika 5. K53 - Vibracijske trake .....	4
Slika 6. Prometni znak C21- Zona u kojoj je ograničena brzina .....	5
Slika 7. Prometni znak C25 - Područje smirenog prometa.....	5
Slika 8. Prikaz konveksnog profila umjetne izbočine poprečno na smjer vožnje.....	6
Slika 9. Prikaz trapeznog profila uzdignute plohe okomito na smjer vožnje .....	6
Slika 10. Dopunska ploča E44 .....	7
Slika 11. Prometni znakovi Djeca na cesti A34 (lijevo) i C04 (desno) i Ograničenje brzine B31 (sredina).....	7
Slika 12. Ploče za označavanje bočne zapreke K17 i K18 .....	7
Slika 13. Ploča za označavanje prometnog otoka K06.....	8
Slika 14. Umjetna izbočina H64 .....	8
Slika 15. Uzdignuta ploha - H65.....	8
Slika 16. Koordinatni sustav vozila prema ISO 8855 [5].....	10
Slika 17. Četvrtinski model vozila .....	13
Slika 18. Shematski prikaz četiri moguća četvrtinska modela vozila [5].....	14
Slika 19. Shematski prikaz četvrtinskog modela vozila s dvostrukim elastično-prigušnim elementima (2 SSG) .....	14
Slika 20. Četvrtinski model vozila sa sjedalom (3 SSG) [5] .....	15
Slika 21. Shematski prikaz ravninskog modela vozila (4 SSG) [4] .....	16
Slika 22. Shematski prikaz ravninskog modela vozila sa sjedalom (5 SSG) [5].....	18
Slika 23. Ravninski model vozila u poporečnoj ravnini sa zavisnim ovjesom [6] .....	18
Slika 24. Ravninski model vozila u poprečnoj ravnini sa nezavisnim ovjesom [6].....	19
Slika 25. Shematski prikaz prostornog modela vozila (7 SSG) [4] .....	19
Slika 26. Profil umjetne izbočine ZONA 30.....	22
Slika 27. Profil umjetne izbočine ZONA 40.....	22
Slika 28. Profil umjetne izbočine ZONA 50.....	22
Slika 29. Profil umjetne izbočine Dobojska ulica.....	23
Slika 30. Umjetna izbočina postavljena u Dobojskoj ulici.....	23
Slika 31. Profil uzdignute plohe Nova cesta 1 .....	23
Slika 32. Profil uzdignute plohe Nova cesta 2 .....	24
Slika 33. Uzdignuta ploha na Novoj cesti.....	24
Slika 34. Novopostavljena uzdignuta ploha na Novoj cesti .....	24
Slika 35. Nepravilno postavljena umjetna izbočina u Dobojskoj ulici .....	25
Slika 36. Primjer razdvajanja gumenih elemenata na prepreci na Novoj cesti.....	25
Slika 37. Primjer izdizanja prepreke od kolničkog zastora .....	26
Slika 38. Primjer međusobnog izdizanja gumenih elemenata .....	26
Slika 39. <i>B-Class Hatchback</i> model vozila odabran u programskom paketu CarSim .....	27
Slika 40. Izrada profila prepreke ZONA 30 u programskom paketu CarSim .....	28
Slika 41. Prikaz isječka animacije ispitne procedure <i>Small, Sharp Bump</i> iz programskog paketa CarSim .....	28
Slika 42. Dijagram ovisnosti Z koordinate središta kotača o brzini vožnje .....	29
Slika 43. Dijagram ovisnosti Z koordinate težišta ovješene mase o brzini vožnje .....	30
Slika 44. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovješene mase o brzini vožnje.....	31

Slika 45. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o brzini vožnje .....	32
Slika 46. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu.....	33
Slika 47. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	34
Slika 48. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovještene mase o prijeđenom putu.....	34
Slika 49. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu .....	35
Slika 50. Dijagram ovisnosti vertikalne sile na gumi o prijeđenom putu.....	35
Slika 51. Dijagram ovisnosti visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	37
Slika 52. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu.....	38
Slika 53. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	38
Slika 54. Dijagram ovisnosti vertikalne akceleracije ovještene mase vozila o prijeđenom putu .....	39
Slika 55. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu .....	39
Slika 56. Dijagram ovisnosti visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	40
Slika 57. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu.....	41
Slika 58. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	41
Slika 59. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovještene mase o prijeđenom putu.....	42
Slika 60. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu .....	42
Slika 61. Dijagram ovisnosti uzdužne sile $F_x$ u središtu kotača o prijeđenom putu.....	43
Slika 62. Dijagram usporedbe visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	44
Slika 63. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu.....	45
Slika 64. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) ovještene mase o prijeđenom putu.....	45
Slika 65. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovještene mase o prijeđenom putu.....	46
Slika 66. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu.....	46
Slika 67. Dijagram ovisnosti visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	48
Slika 68. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu.....	49
Slika 69. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijeđenom putu .....	49
Slika 70. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovještene mase o prijeđenom putu.....	50
Slika 71. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu .....	50
Slika 72. Dijagram ovisnosti visine profila, vertikalnog pomaka središta kotača i vertikalnog pomaka ovještene mase o prijeđenom putu .....	52

---

Slika 73. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu.....	53
Slika 74. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovješene mase o prijeđenom putu .....	53
Slika 75. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovješene mase o prijeđenom putu.....	54
Slika 76. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu .....	54
Slika 77. Dijagram ovisnosti vertikalne sile na gumu o prijeđenom putu.....	55
Slika 78. Dijagram ovisnosti visine profila, vertikalnog pomaka središta kotača i vertikalnog pomaka ovješene mase o prijeđenom putu .....	56
Slika 79. Dijagram ovisnosti vertikalnog pomaka središta kotača o prijeđenom putu .....	57
Slika 80. Dijagram ovisnosti vertikalnog pomaka ovješene mase o prijeđenom putu.....	57
Slika 81. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovješene mase o prijeđenom putu.....	58
Slika 82. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu .....	58

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Parametri potrebni za zadavanje četvrtinskog modela vozila .....	15
Tablica 2. Parametri potrebni za zadavanje ravninskog modela vozila (4 SSG) .....	17
Tablica 3. Parametri potrebni za zadavanje prostornog modela vozila (7 SSG) .....	20
Tablica 4. Vršne vrijednosti dinamičkih karakteristika kod mijenjanja mase .....	51
Tablica 5. Vršne vrijednosti dinamičkih karakteristika kod mijenjanja dimenzija kotača .....	56
Tablica 6. Vršne vrijednosti dinamičkih karakteristika kod mijenjanja krutosti opruge .....	59
Tablica 7. Najveće brzine vožnje za pojedine prepreke kod kojih ne dolazi do odvajanja kotača od podloge .....	60

---

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$c_1$	N/mm	krutost opruge ovjesa
$c_2$	N/mm	krutost pneumatika
$J_x$	$\text{kgm}^2$	moment tromosti ovješene mase oko uzdužne osi
$J_y$	$\text{kgm}^2$	moment tromosti ovješene mase oko poprečne osi
$k_1$	Ns/m	prigušenje amortizera opruge
$k_2$	Ns/m	prigušenje pneumatika
$l$	m	međuosovinski razmak
$l_1$	m	udaljenost težišta vozila od osi prednje osovine
$l_2$	m	udaljenost težišta vozila od osi stražnje osovine
$m$	kg	masa neovješene mase
$M$	kg	masa ovješene mase
$v$	km/h	brzina

---

**SAŽETAK**

Zbog ograničavanja brzine vožnje vozila i povećavanja sigurnosti prometovanja, na ceste se postavljaju različite prepreke za smirivanje prometa. U radu je analizirano ponašanje vozila prilikom prelaska preko prepreka za smirivanje prometa. Prikazano je zakonsko uređenje područja signalizacije i opreme za smirivanje prometa kao i prikaz i opisi različitih simulacijskih modela koji se koriste u analizi dinamike vozila u ispitnoj proceduri s vertikalnom pobudom. Simulacije su izrađene u programskom paketu CarSim. Odabran je model vozila, izrađeni oblici prepreka te mijenjani parametri vozila (masa, dimenzije kotača, krutost opruge ovjesa). Rezultati su prikazani kroz dijagrame.

Ključne riječi: prepreke za smirivanje prometa, zakonsko uređenje, vertikalna dinamika, CarSim, oblici prepreka, parametri vozila



---

**SUMMARY**

Various traffic calming devices are placed on the road for the sake of limiting the speed of the vehicle and increasing traffic safety. The behaviour of the vehicle crossing traffic calming obstacles is analysed in this thesis. The traffic signs and traffic calming devices regulations, as well as description of simulation models used in the analysis of vehicle dynamics in the test procedure with vertical excitation are shown. The simulations are made in CarSim. The model of the vehicle is selected, obstacle shapes are made, and vehicle parameters (mass, wheel dimensions, suspension spring stiffness) are changed. The results are shown in diagrams.

Keywords: traffic calming obstacles, regulation, vertical dynamics, CarSim, obstacle shapes, vehicle parameters

## 1. UVOD

Zbog brzog razvoja automobilske industrije, kao i zbog potreba ljudi da posjeduju vlastite automobile radi lakšeg putovanja na posao, obavljanja svojih obaveza i općenito povezanosti, došlo je do povećanja broja osobnih automobila u prometu, ali i do povećanja brzine kretanja vozila. Sve to je uvelike dovelo do smanjenja površina namjenjenih za prometovanje biciklista i pješaka te umanjilo njihovu sigurnost u prometu. Pojavljuje se koncept „smirivanja prometa“, a temelji se prvenstveno na zahtjevu povećanja sigurnosti prometa što uključuje smanjenje brzine kretanja vozila u blizini dječjih vrtića i škola, kao i u stambenim zonama, te povećanje preglednosti vozača, odnosno bolje uočavanje nezaštićenih sudionika prometa (pješači, biciklisti, djeca). Smirivanje prometa se provodi reorganizacijom postojećih cestovnih mreža, npr. fizičkim odvajanjem područja prometovanja automobila i pješaka, ali i drugim mjerama za smirivanje prometa, od kojih su najpoznatiji uspornici prometa ili tzv. ležeći policajci.

### 1.1. Mjere za smirivanje prometa

Prve mjere smirivanja prometa u Europi pojavljuju se potkraj sedamdesetih godina prošlog stoljeća kada je postavljen prvi uspornik u gradu Delft u Nizozemskoj [1]. Nadalje se ideja uspješno širila i provodila po cijeloj Europi. Zagreb je svoj prvi uspornik dobio 1998. godine na Horvaćanskoj cesti, a danas ih u Zagrebu ima oko 900.



Slika 1. Prvi uspornik prometa u Zagrebu postavljen na Horvaćanskoj cesti

Mjere za smirivanje prometa služe prvenstveno kako bi vozače prisilile na smanjivanje brzine vožnje na dopuštenu brzinu vožnje na cesti na kojoj su postavljene, za omogućavanje bolje vozačke preglednosti te sveukupno povećanje sigurnosti svih sudionika u prometu. Na taj način se, osim smanjenja broja prometnih nezgoda i nesreća, smanjuju i štetni utjecaji na okoliš poput razine buke i onečišćenja zraka.

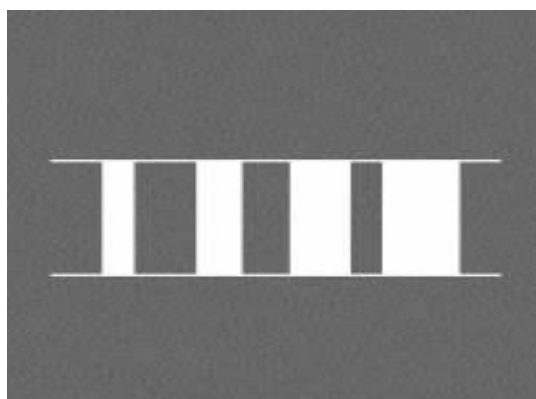
## **1.2. Zakonsko uređenje područja signalizacije i opreme za smirivanje prometa**

U Republici Hrvatskoj područje signalizacije i opreme za smirivanje prometa uređeno je Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama pod oznakom NN 33/2005, a kojeg donosi Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka [2]. Temeljem članka 2. navedenog pravilnika, signalizacija i oprema za smirivanje prometa čine posebnu grupu prometnih znakova, signalizacije i opreme cesta.

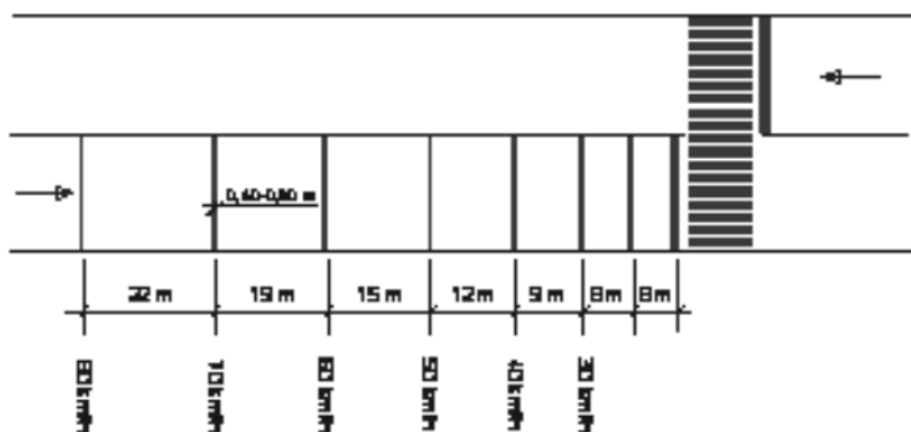
Najčešće mjere koje se primjenjuju za smirivanje prometa na kolnicima su optičke bijele crte upozorenja, trake za zvučno upozoravanje, vibracijske trake, umjetne izbočine i uzdignute plohe na kolniku [2]. Uz njih, u upotrebi su i kamene kocke na čitavom zastoru ili pojedinim dijelovima, proširenje nogostupa u odnosu na kolnik, stvaranje tzv. umjetnih zavoja, prometni otoci za usmjeravanje vozila te uređaji za određivanje brzine vožnje.

### **1.2.1. Optičke bijele crte upozorenja**

Optičke bijele crte upozorenja upozoravaju vozača da smanji brzinu vožnje, a postavljaju se ispred pješačkih prijelaza, opasnog dijela ceste, raskrižja kao i ispred ploča koje označavaju naziv naseljenog mjesta, graničnih prijelaza i slično. Prema članku 102. [2] serijski se postavljaju najmanje četiri bijele reflektivne trake poprečno na smjer vožnje cijelom širinom prometnog traka. Crte moraju biti sve veće širine i sve manjeg razmaka (znak K50), a razmak ovisi o početnoj i konačnoj brzini vozila. Pa tako npr. za početnu brzinu 80 km/h i krajnju 40 km/h (znak K51), širina prve trake mora biti 20 cm, a širina ostalih se povećava za 10 cm.



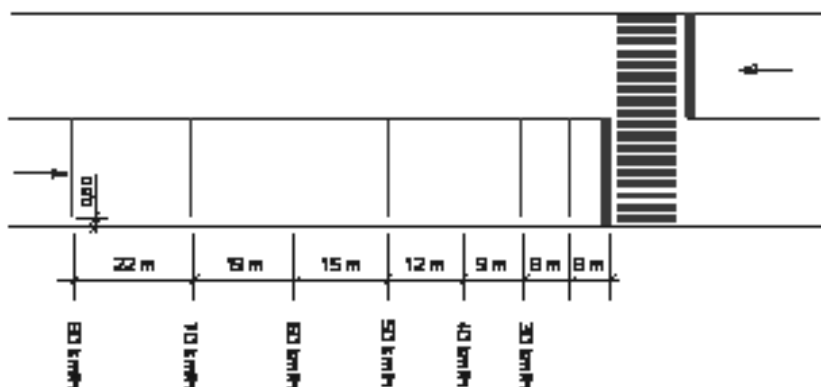
Slika 2. K50 - Optičke bijele crte upozorenja



Slika 3. K52

### 1.2.2. Trake za zvučno upozoravanje vozača

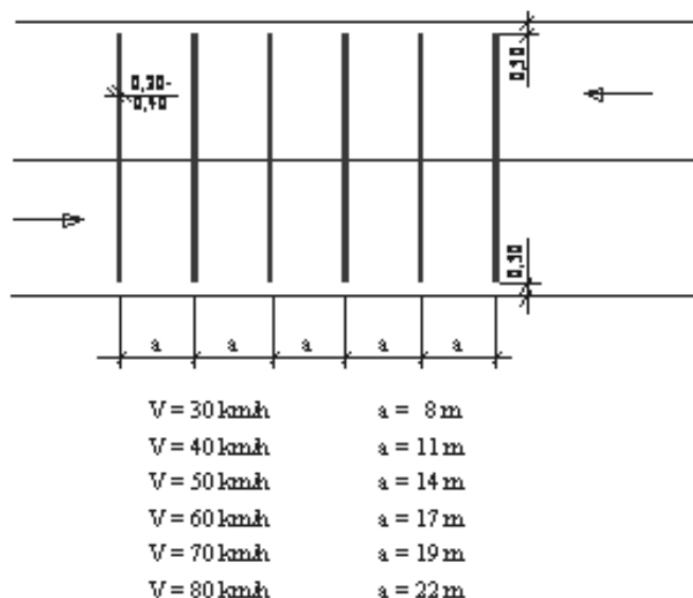
Izvide se hrapavljenjem kolničkog zastora glodanjem ili nanošenjem tankih reljefnih slojeva na kolnik, granulacije 8 do 12 mm, a pri prijelazu vozila preko njih dolazi do stvaranja zvučnih efekata i tihih vibracija koje tada upozoravaju vozača na smanjenje brzine. Postavljaju se ispred pješačkih prijelaza, vrtića i škola, ispred željezničkih prijelaza, križanja, opasnih zavoja. Izvide se u paru na udaljenosti od 1,8 m preko prometnog traka, razmak traka ovisi o početnoj i krajnjoj brzini vožnje vozila, širine 15 do 40 cm, a visine 5 do 12 mm.



Slika 4. K52 - Trake za zvučno upozoravanje

### 1.2.3. Vibracijske trake

Vibracijske trake djeluju na istom principu kao i zvučne trake, ali proizvode jače vibracije i glasnije zvučne efekte. Polazu se u paru na međusobnoj udaljenosti od 1,8 m (2,0 m), širine su od 20 do 40 cm i visine 18 do 25 mm, a izvide se nanošenjem kamene eruptivne granulacije preko cijele širine kolnika. Također se postavljaju na mjestima gdje je potrebno vozača upozoriti na smanjenje brzine vožnje na dopuštenu brzinu pa tako i sam razmak između para vibracijskih traka ovisi o najvećoj dopuštenoj brzini.



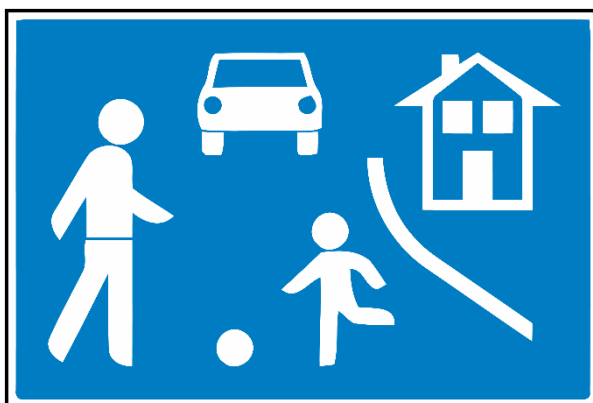
Slika 5. K53 - Vibracijske trake

#### 1.2.4. Umjetne izbočine

Postavljaju se u stambenim ulicama prije zone smirivanja prometa, obilježenim prometnim znakom C21 za zonu u kojoj je ograničena brzina, odnosno prometnim znakom C25 za područje smirenog prometa.



Slika 6. Prometni znak C21- Zona u kojoj je ograničena brzina

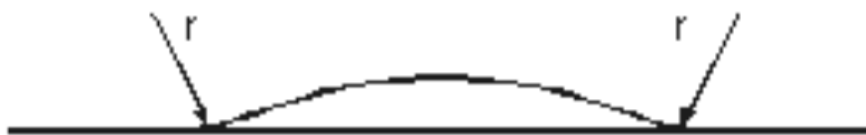


Slika 7. Prometni znak C25 - Područje smirenog prometa

Građevinski su elementi koji se mogu postavljati po polovini ili po cijeloj širini prometnog traka. Kada su postavljene u nizu, ovisno o situaciji, razmak može biti između 20 i 60 m. Dimenzije umjetnih izbočina ovise o ograničenju brzine u zoni smirivanja prometa, kako slijedi:

- $\leq 50$  km/h – širina ne smije biti manja od 60 cm, visina ne smije prelaziti 3 cm;
- $\leq 40$  km/h – širina ne smije biti manja od 90 cm, visina ne smije prelaziti 5 cm;
- $\leq 30$  km/h – širina ne smije biti manja od 120 cm, visina ne smije prelaziti 7 cm.

Umjetne izbočine koje se postavljaju u zonama ograničenja brzine kretanja vozila na 40 km/h ili na 50 km/h se izvode od modularnih elemenata (gume ili plastične mase), dok se u zoni 30 km/h one mogu izvoditi i od asfaltne mase. U pogledu poprečno na smjer vožnje umjetna izbočina konveksnog je profila i na spoju s kolnikom ne smije imati rubove.



**Slika 8. Prikaz konveksnog profila umjetne izbočine poprečno na smjer vožnje**

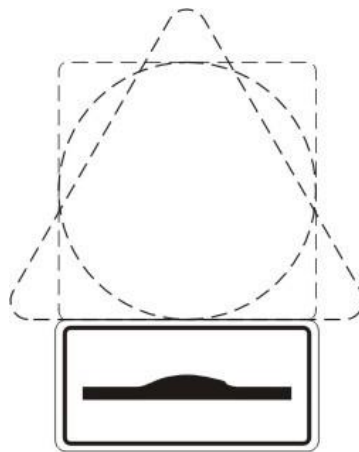
#### **1.2.5. Uzdignute plohe**

Građevinski su izvedene površine, a izvode se pojedinačno ili u nizu, te postavljaju obično na mjestima gdje se nalazi obilježeni pješački prijelaz te u zonama smirenog prometa. Trapeznog su profila te se moraju razlikovati od kolne površine ceste i po materijalu i po boji, kako bi se osigurala dobra vidljivost kako danju tako i noću. Ploha treba biti na visini 7 do 12 cm, a nagibi prilaznih rampi iznosa su između 1:10 i 1:20, dok dužina prilaznih rampi ovisi o visini plohe (minimalno 1 m).



**Slika 9. Prikaz trapeznog profila uzdignute plohe okomito na smjer vožnje**

Prema članku 101. Pravilnika o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama uzdignute plohe i umjetne izbočine moraju biti označene dopunskom pločom E44 (označava mjesto na cesti gdje se nalazi oprema za smirivanje prometa) uz prometni znak A34 (djeca na cesti), B31 (ograničenje brzine) ili C04 (djeca na cesti) i prometnim znakovima C10 (izbočina na cesti), K17 i K18 (ploča za označavanje bočne zapreke) i oznakama na kolniku.



Slika 10. Dopunska ploča E44



Slika 11. Prometni znakovi Djeca na cesti A34 (lijevo) i C04 (desno) i Ograničenje brzine B31 (sredina)



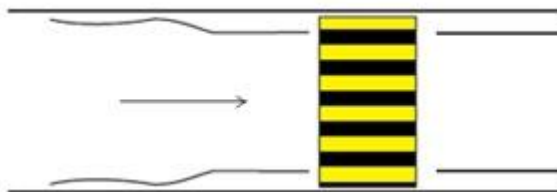
Slika 12. Ploče za označavanje bočne zapreke K17 i K18



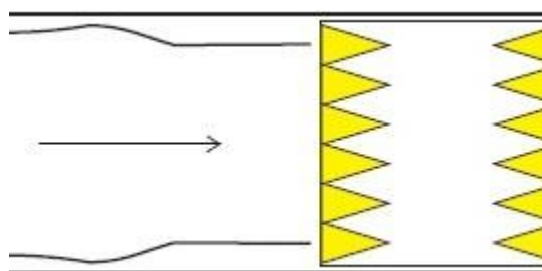


**Slika 13. Ploča za označavanje prometnog otoka K06**

Iznimno odredbi članka 69. stavka 1. [2], koji kaže da se oznake na kolniku označavaju bijelom bojom, naprave za smirivanje prometa se označavaju žutom bojom. Oznake na kolniku se ucrtavaju, lijepe, utiskuju ili ugrađuju u kolnički zastor i nikako ne smiju povećavati sklizavost kolnika. Umjetne izbočine se označavaju paralelnim žutim linijama (H64), a uzdignute plohe se po rubovima označavaju „cik-cak“ linijom ispunjenom žutom bojom.



**Slika 14. Umjetna izbočina H64**



**Slika 15. Uzdignuta ploha - H65**

I umjetne izbočine i plohe se postavljaju samo na cestama u naselju, u zonama gdje je nužno upozoriti vozače na smanjivanje brzine kretanja vozila radi sigurnijeg prometovanja, ali njihova uporaba nije dopuštena na cestama u blizini bolnica gdje se češće kreću vozila Hitne pomoći.

Uspornici se postavljaju na temelju prometnog elaborata i analize opravdanosti, uz suglasnosti

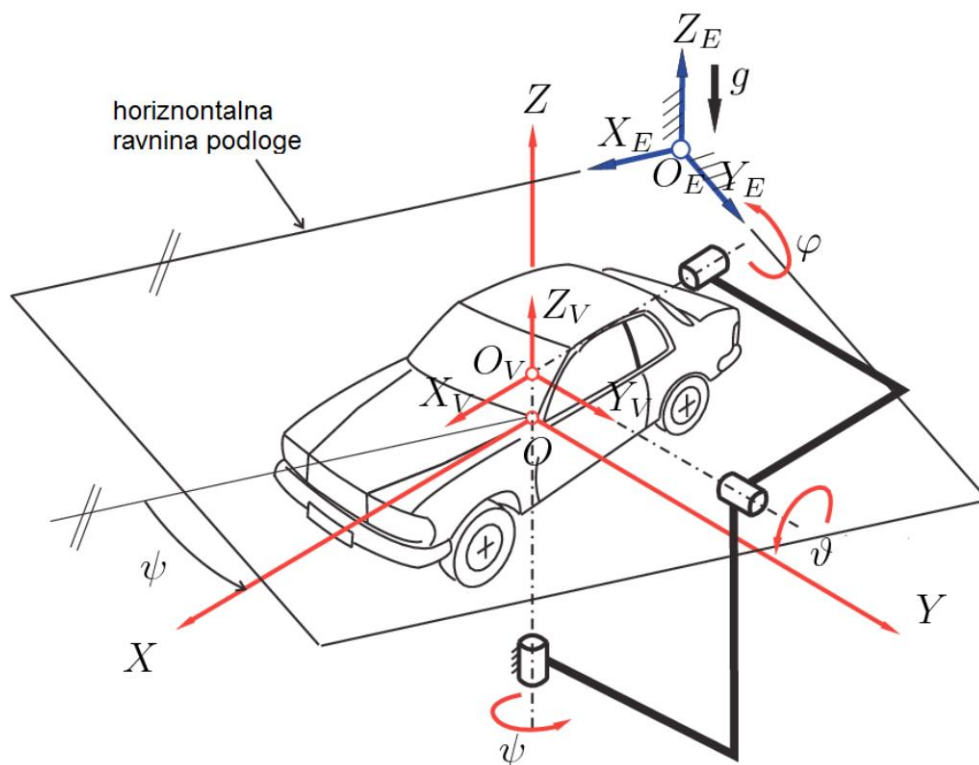
iz Zakona o javnim cestama [3]. Kada se pojavi potreba postavljanja uspornika na određenu prometnicu, što zbog poziva građana, učestalih nezgoda i nesreća, izgradnje novog vrtića ili škole, na teren izlazi komisija koja utvrđuje je li potrebno postavljanje uspornika i koje vrste. U gradu Zagrebu za postavljanje signalizacije i opreme za usporavanje prometa zadužen je Gradski ured za prostorno uređenje, izgradnju Grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet, odnosno Sektor za promet i Sektor za ceste Grada Zagreba. Njihovi predstavnici pregledavaju kvalitetu asfalta, utvrđuju gustoću prometa na tom području, izračunava se potencijal da dođe do prometne nesreće, u obzir se uzima i preglednost ceste noću, uvjeti ceste u različitim vremenskim prilikama, prometuju li tu gradski autobusi i slično. Također se u obzir uzimaju i sugestije građana koji žive na tom području i imaju bolji uvid u stvarnu situaciju. Ako se utvrdi da je potrebno postaviti uspornik, radi se nacrt koji se šalje vijeću gradske četvrti kojoj pripada prometnica, a nakon njihovog odobrenja nadalje se nacrt šalje prometnoj policiji. Kada prometna policija da službenu prometnu suglasnost za postavljanje uspornika Gradski ured za prostorno uređenje, izgradnju Grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet izdaje rješenje za izradu uspornika i kreće se u proces postavljanja istih. Problem nastaje kada se takav postupak ne poštuje pa se često postavljaju uspornici bez provedbe prometnog elaborata što najčešće dovodi do stradavanja automobila građana koji prometuju tim dionicama. Također sam Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama je zastario te se ne usklađuje s europskim pravilnicima.

Iako je Pravilnikom [2] jasno definirano da umjetne izbočine moraju biti dobro usidrene u kolnik te da ne smije doći do odvajanja pojedinačnih elemenata ili dijelova i izdizanja od kolnika, to često nije slučaj. Također je propisano da se u području postavljenih uspornika moraju provesti mjere za odvodnju vode s kolnika kako prilikom nepovoljnih vremenskih uvjeta ne bi došlo do zadržavanja vode u području uspornika, što uvelike smanjuje njihovu uočljivost, kao i mogućnost vozača da bolje procijeni njihovu visinu i stanje samog uspornika te prilagodi brzinu vožnje. Takvi propusti prilikom postavljanja ili obnavljanja opreme za smirivanje prometa često dovode do oštećenja samih vozila.

## 2. VIBRACIJSKI MODELI VERTIKALNE DINAMIKE VOZILA

Dinamika vozila je grana mehanike koja se bavi proučavanjem pojava vezanih za gibanje vozila kada na njega djeluju sile i momenti. Temelji se na Newtonovim zakonima gibanja. Glavne sile i momenti koji određuju dinamiku vozila su inercijske sile, aerodinamičke sile i momenti te sile i momenti koji nastaju na mjestu kontakta pneumatika s podlogom. Dinamika vozila se temelji na klasičnoj mehanici (statika, kinematika, dinamika), ali i na dugogodišnjim istraživanjima i ispitivanjima inženjera zaposlenih u tim granama industrije. Obuhvaća interakciju vozila, vozača, opterećenja i okoliša, a bavi se poboljšanjem stabilnosti, upravljivosti, sigurnosti vozila i udobnosti vožnje, kao i smanjenjem utjecaja podražaja iz okoliša.

Pri proučavanju dinamike vozila koordinatni sustav se postavlja u točku vozila koja označava težište vozila, a u kojoj je zamišljeno koncentrirana kompletna masa vozila. Os  $X$  predstavlja uzdužnu os s pozitivnim smjerom u smjeru vožnje, os  $Y$  je poprečna os čiji je pozitivan smjer na lijevo (iz vozačevih vrata), dok je os  $Z$  vertikalna os s pozitivnim smjerom prema gore. Osi  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  definiraju i pripadajuće rotacije: kut zakreta oko uzdužne osi  $\varphi$  (eng. *Roll*), kut zakreta oko poprečne osi  $\vartheta$  (eng. *Pitch*) i kut zakreta oko vertikalne osi  $\psi$  (eng. *Yaw*) [4].



Slika 16. Koordinatni sustav vozila prema ISO 8855 [5]

Prema tako postavljenim koordinatnim osima, dinamika vozila se dijeli na:

- uzdužnu dinamiku vozila,
- poprečnu dinamiku vozila,
- vertikalnu dinamiku vozila

i dodatno na:

- dinamiku gume,
- dinamiku kompletnog vozila.

Ovakvom podjelom je omogućeno i olakšano promatranje pojedinih pojava vezanih za kretanje vozila, izdvojeno od ostalih utjecaja i uz određene pretpostavke, kao i njihova analiza.

## 2.1. Vertikalna dinamika

Vertikalna dinamika se bavi utjecajem vertikalne pobude na vozilo gdje sile djeluju u pravcu vertikalne osi. Proučavaju se oscilacije vozila i njihov utjecaj na udobnost vožnje, vozača i putnika, te na kontakt pneumatika s podlogom, a uglavnom se zasniva na teoriji vibracija.

Vertikalna dinamika uključuje analizu karakteristika opružno-prigušnih elemenata ovjesa, vlastitih frekvencija sustava (ovješene i neovješene mase), vibracija karoserije i vibracija koje se prenose na sjedala, utjecaja pobude na udobnost vožnje, različitih tipova ovjesa, utjecaja na uzdužnu i poprečnu dinamiku [4].

Prilikom kretanja vozila zbog neravnina ceste ili određenih prepreka dolazi do osciliranja masa vozila što uvelike utječe na udobnost vožnje. Može dovesti i do smanjenja dinamičkih reakcija tla, samim time i smanjenja vučnih ili kočnih sila, a što ima negativne posljedice na stabilnost upravljanja vozilom i sigurnost vožnje. Kako bi se uklonile takve negativne posljedice i povećala udobnost i sigurnost vožnje, u vozilima se koriste različiti oblici sustava elastičnog oslanjanja.

Sustav elastičnog oslanjanja ili sustav ovjesa su svi elementi konstrukcijskog sustava vozila koji povezuju ovješene mase s neovješanim masama, a čine ga elastični elementi, elementi vođenja, elementi prigušivanja i elementi stabilizacije. Mogu biti pasivni, aktivni i poluaktivni, a na vozilu se razlikuju prednji i stražnji ovjes vozila.

Promatrajući oscilirajuće mase vozila, razlikuju se ovješena i neovješena masa. Ovješena se masa (karoserija i teret) nalazi iznad sustava ovjesa, a neovješena masa (kotači/gume, kočnice) ispod sustava ovjesa. Masa samog ovjesa se u pravilu dodaje s jednom polovinom ovješenoj i

neovješenoj masi [6]. Što je veći omjer između ovješene i neovješene mase to je udobnost vožnje veća, a poželjno je i da neovješena masa bude što je moguće manja.

## 2.2. Vibracijski modeli vozila

Pri proučavanju i analiziranju vertikalne dinamike koriste se pojednostavljeni vibracijski modeli vozila koji jednostavno, a dovoljno točno, i uz određene pretpostavke, opisuju neki problem vertikalne dinamike. Model treba obuhvaćati samo najvažnije parametre, a tako se ubrzava analitički postupak dobivanja rješenja i pojednostavljuje praktična provjera dobivenih rezultata. U slučaju kada dobiveni analitički rezultati odstupaju od pojava uočenih u praksi, potrebno je ponovno analizirati parametre izabranog vibracijskog modela te modificirati model kako bi se približio stvarnom modelu.

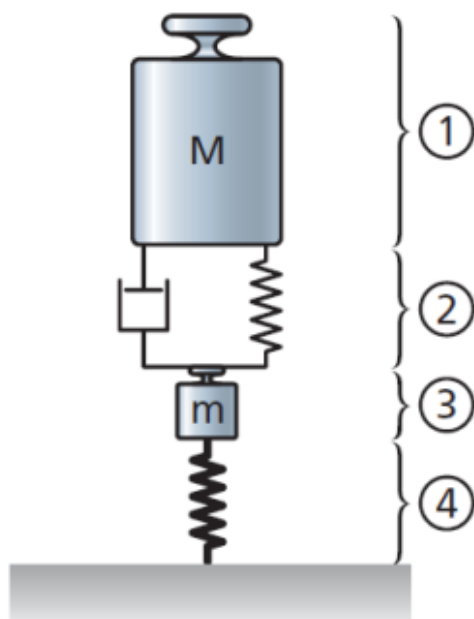
Podjela vibracijskih modela vozila:

- jednodimenzijski, četvrtinski model vozila (2 stupnja slobode gibanja – 2 SSG)
- dvodimenzijski, ravninski model vozila (4 SSG)
- trodimenzijski (prostorni), model kompletnog vozila (7 SSG)

### 2.2.1. Četvrtinski model vozila

Jednodimenzijski odnosno četvrtinski model vozila najjednostavniji je model pasivnog sustava ovjesa. Takav model ima dva stupnja slobode gibanja, a odnose se na vertikalne pomake (brzine, akceleracije) ovješene i neovješene mase.

Četvrtinski model vozila s dva stupnja slobode gibanja omogućuje analizu odziva vozila za zadanu pobudu, analizu udobnosti vožnje i analizu sigurnosti. Udobnost vožnje se ocjenjuje analizom vertikalnog ubrzanja, dok se kod sigurnosti vožnje proučava opterećenje kotača i odvajanje kotača od podloge.

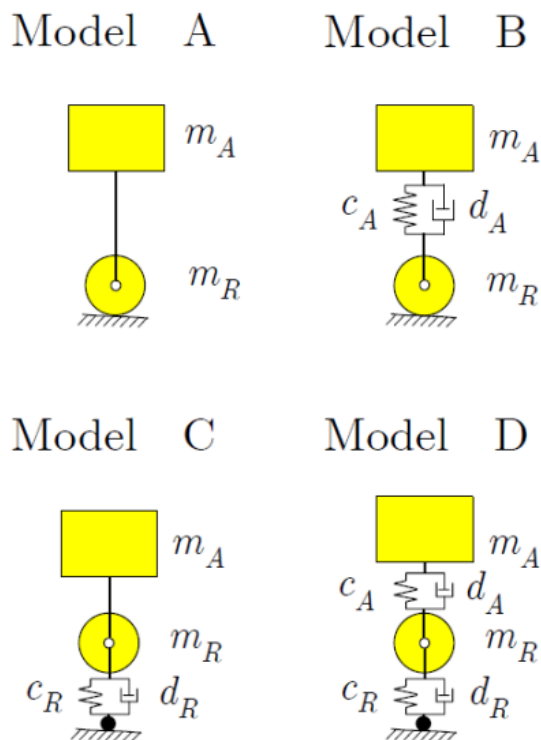


Slika 17. Četvrtinski model vozila

- 1) Masa  $M$  predstavlja  $\frac{1}{4}$  ovješene mase vozila, a gibanje te mase se opisuje kao gibanje krutog tijela.
- 2) Sustav opruga + amortizer s viskoznim prigušenjem koji predstavlja vertikalnu krutost i sposobnost prigušenja ovjesa vozila
- 3) Masa  $m$  koja predstavlja  $\frac{1}{4}$  neovješene mase vozila.
- 4) Opruga koja predstavlja vertikalnu krutost gume [4].

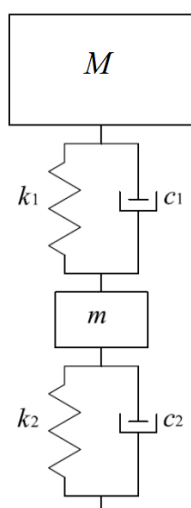
Četiri su moguća četvrtinska modela vozila:

- A) Model bez elastično-prigušnih elemenata ovjesa i s krutom gumom (kotačem),
- B) Model s elastično-prigušnim elementima ovjesa i s krutom gumom (kotačem),
- C) Model s elastično-prigušnim elementima ovjesa i s elastičnom gumom (kotačem),
- D) Model s dvostrukim elastično-prigušnim elementima: ovjes kotača + elastična guma (kotač).



Slika 18. Shematski prikaz četiri možuca četvrtinska modela vozila [5]

Od navedenih modela vozila, samo je model s dvostrukim elastično-prigušnim elementima pogodan za analizu vertikalne dinamike cestovnih vozila i danas sva cestovna vozila imaju elastičnu gumu i ovjes.



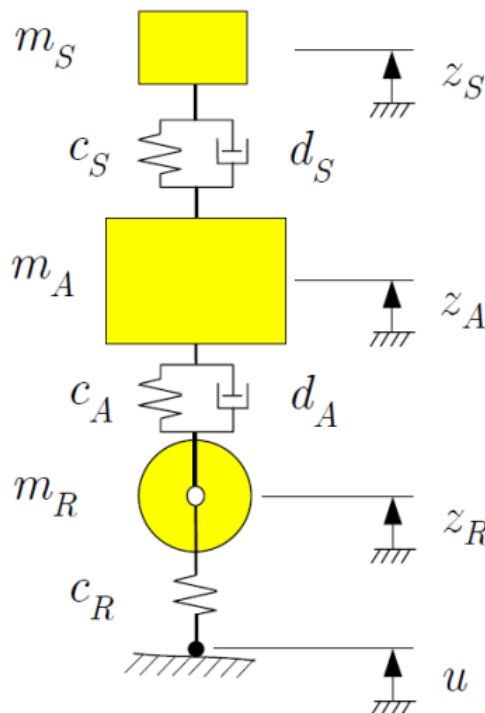
Slika 19. Shematski prikaz četvrtinskog modela vozila s dvostrukim elastično-prigušnim elementima (2 SSG)

Parametri potrebni za zadavanje takvog modela vozila su prikazani u tablici 1.

**Tablica 1. Parametri potrebni za zadavanje četvrtinskog modela vozila (2 SSG)**

<i>Parametar</i>	<i>Opis</i>	<i>Mjerna jedinica</i>
$M$	$\frac{1}{4}$ ovještene mase vozila	[kg]
$m$	$\frac{1}{4}$ neovještene mase vozila	[kg]
$k_1$	prigušenje amortizera ovjesa	[Ns/m]
$c_1$	krutost opruge ovjesa	[N/m]
$k_2$	prigušenje gume	[Ns/m]
$c_2$	krutost gume	[N/m]

Postoji i četvrtinski model vozila s tri stupnja slobode gibanja, a naziva se četvrtinski model ovjesa vozila sa sjedalom. U tom se slučaju dodatno moraju zadati još tri parametra: masa sjedala  $m_s$ , krutost  $c_s$  i prigušenje  $k_s$  ovjesa ispod sjedala. Takav model omogućuje detaljniju analizu udobnosti vožnje i utjecaja vibracija na putnike u vozilu.



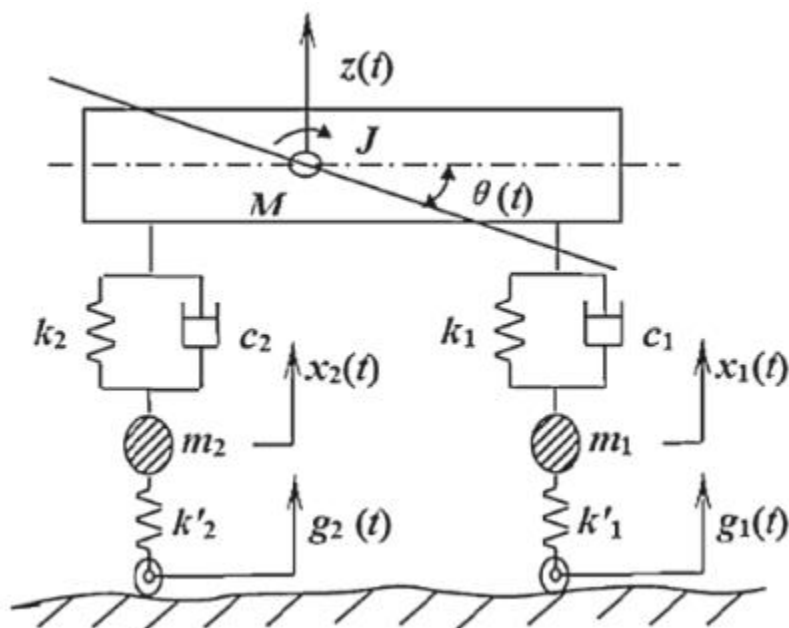
**Slika 20. Četvrtinski model vozila sa sjedalom (3 SSG) [5]**



Također, četvrtinski model vozila se koristi pri određivanju indeksa za ocjenu stanja kolnika, tzv. indeks IRI (eng. *International Roughness Index*). Simulira se virtualna vožnja standardiziranog četvrtinskog modela vozila brzinom 80 km/h po filtriranom snimljenom uzdužnom profilu kolnika, te se zbrajanjem relativnih pomaka ovjesa u odnosu na karoseriju vozila i njihovim dijeljenjem s duljinom mjernog profila dobiva vrijednost indeksa neravnosti kolnika (u m/km).

### 2.2.2. Ravninski model vozila

Ravninski ili dvodimenzijski model vozila se sastoji od dva četvrtinska modela vozila međusobno povezana zajedničkom ovješenoj masom odnosno  $\frac{1}{2}$  ukupne ovještene mase vozila. Ravnina modela predstavlja uzdužnu ravninu koordinatnog sustava vozila, a četvrtinski modeli predstavljaju prednji i zadnji kotač. Ovako zadan model ima četiri stupnja slobode gibanja: vertikalni pomaci ovješene mase (oba kotača) i neovještene mase, te zakret ovještene mase oko poprečne osi vozila (eng. *Pitch*).



Slika 21. Shematski prikaz ravninskog modela vozila (4 SSG) [4]

Pretpostavke pri korištenju ravninskog modela vozila [6]:

- neravnine puta su jednake na lijevom i desnom kotaču jedne osovine,
- vozilo je simetrično u odnosu na uzdužnu os,
- težišne osi su istovremeno i glavne osi inercije,

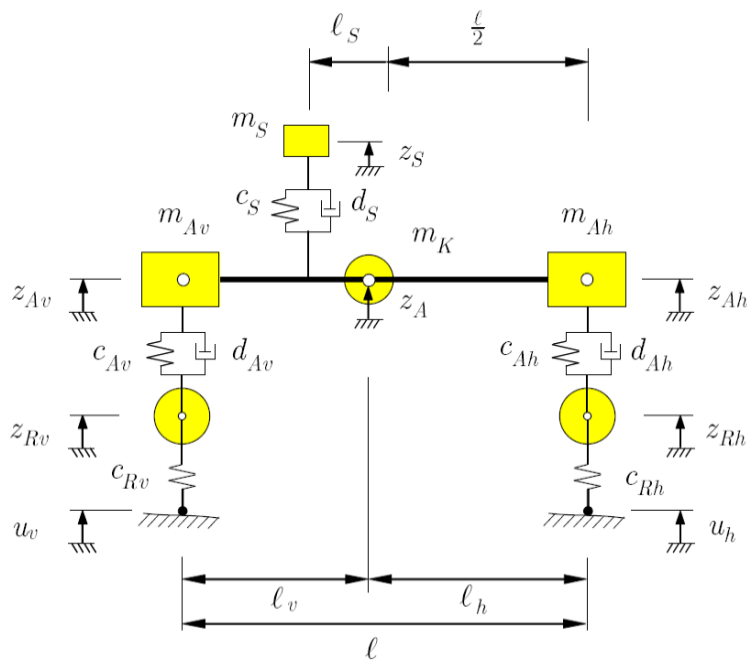
- vozilo se kreće jednoliko po ravnoj liniji,
- kotači moraju biti neprestano u kontaktu s podlogom,
- osciliranje ovješene i neovješene mase je malo i uzrokovano je poremećajnim silama zbog neravninama kolnika.

Parametri potrebni za zadavanje ravninskog modela vozila su prikazani u tablici 2.

**Tablica 2. Parametri potrebni za zadavanje ravninskog modela vozila (4 SSG)**

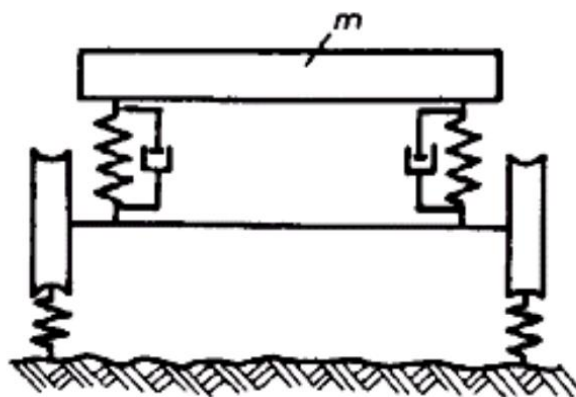
<i>Parametar</i>	<i>Opis</i>	<i>Mjerna jedinica</i>
$M$	$\frac{1}{2}$ ovješene mase vozila	[kg]
$m_p$	$\frac{1}{4}$ neovješene mase vozila (prednji dio)	[kg]
$k_{p1}$	prigušenje amortizera prednjeg ovjesa	[Ns/m]
$c_{p1}$	krutost opruge prednjeg ovjesa	[N/m]
$k_{p2}$	prigušenje prednje gume	[Ns/m]
$c_{p2}$	krutost prednje gume	[N/m]
$m_s$	$\frac{1}{4}$ neovješene mase vozila (stražnji dio)	[kg]
$k_{s1}$	prigušenje amortizera stražnjeg ovjesa	[Ns/m]
$c_{s1}$	krutost opruge stražnjeg ovjesa	[N/m]
$k_{s2}$	prigušenje stražnje gume	[Ns/m]
$c_{s2}$	krutost stražnje gume	[N/m]
$l$	udaljenost osi prednje i stražnje osovine	[m]
$l_1$	udaljenost težišta vozila od osi prednje osovine	[m]
$l_2$	udaljenost težišta vozila od osi stražnje osovine	[m]
$J$	moment tromosti $\frac{1}{2}$ ovješene mase	[kgm <sup>2</sup> ]

Ako se u takav ravninski model ubaci još i model sjedala, odnosno vozača, dobiva se još jedan stupanj slobode gibanja. Tada je to ravninski model vozila s dva kotača sa sjedalom (5 SSG). Osim gore navedenih parametara, za opis ravninskog modela vozila sa sjedalom je potrebno još dodati i masu sjedala odnosno vozača  $m_s$ , karakteristike ovjesa sjedala (krutost opruge  $c_s$  i prigušenje amortizera  $k_s$ ) te udaljenosti sjedala od težišta vozila  $l_s$ .

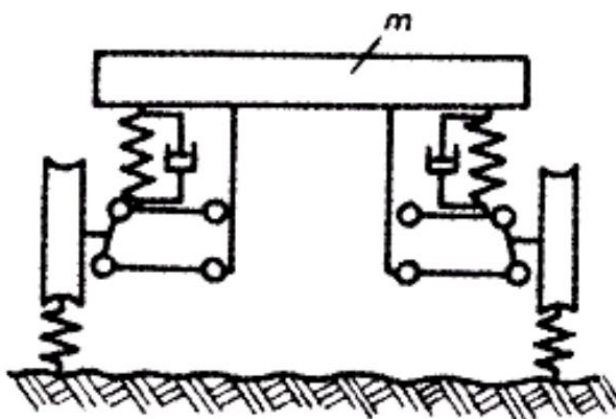


Slika 22. Shematski prikaz ravninskog modela vozila sa sjedalom (5 SSG) [5]

Također je moguće i formirati ekvivalentni ravninski model vozila u poprečnoj ravnini koordinatnog sustava vozila, a na kojima je tada moguće promatrati vertikalnu dinamiku samo prednjih ili samo stražnjih kotača. Takvi modeli postoje za vozilo sa zavisnim ovjesom (kruta osovina) i za vozilo sa nezavisnim ovjesom [6].



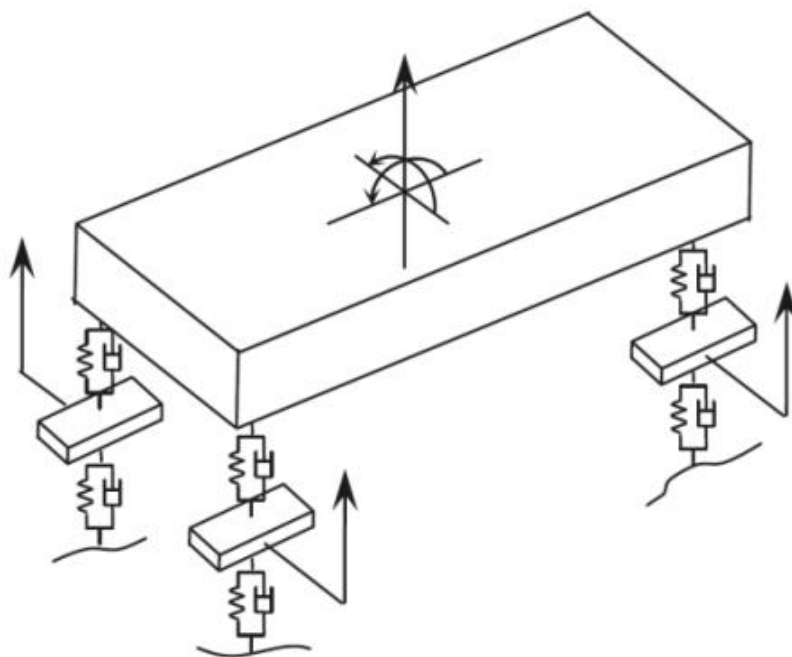
Slika 23. Ravninski model vozila u poprečnoj ravnini sa zavisnim ovjesom [6]



Slika 24. Ravninski model vozila u poprečnoj ravnini sa nezavisnim ovjesom [6]

### 2.2.3. Prostorni model vozila

Prostorni, trodimenzijski ili model kompletnog vozila se modelira tako da postoje četiri četvrtinska modela koji predstavljaju neovještene mase, a međusobno su povezani kompletnom ovješenoj masom vozila. Kod ovakvog modela postoji sedam stupnjeva slobode gibanja: vertikalni pomaci pet masa (četiri neovještene i jedna ovješena), zakret oko poprečne osi (*eng. Pitch*) i zakret oko uzdužne osi (*eng. Roll*).



Slika 25. Shematski prikaz prostornog modela vozila (7 SSG) [4]

Parametri potrebni za zadavanje prostornog modela vozila prikazani su u tablici 3.:

**Tablica 3. Parametri potrebni za zadavanje prostornog modela vozila (7 SSG)**

<i>Parametar</i>	<i>Opis</i>	<i>Mjerna jedinica</i>
$M$	ovješena masa vozila	[kg]
$m_1, m_2, m_3, m_4$	$\frac{1}{4}$ neovještene mase vozila	[kg]
$k_{p1L}, k_{p1D}$	prigušenje amortizera prednjeg ovjesa	[Ns/m]
$c_{p1L}, c_{p1D}$	krutost opruga prednjeg ovjesa	[N/m]
$k_{p2L}, k_{p2D}$	prigušenja prednjih guma	[Ns/m]
$c_{p2L}, c_{p2D}$	krutost prednjih guma	[N/m]
$k_{s1L}, k_{s1D}$	prigušenje amortizera stražnjeg ovjesa	[Ns/m]
$c_{s1L}, c_{s1D}$	krutost opruga stražnjeg ovjesa	[N/m]
$k_{s2L}, k_{s2D}$	prigušenje stražnjih guma	[Ns/m]
$c_{s2L}, c_{s2D}$	krutost stražnjih guma	[N/m]
$l$	udaljenost osi prednje i stražnje osovine	[m]
$l_1$	udaljenost težišta vozila od osi prednje osovine	[m]
$l_2$	udaljenost težišta vozila od osi stražnje osovine	[m]
$l_3$	udaljenost težišta vozila od uzdužne ravnine desnih kotača vozila	[m]
$l_4$	udaljenost težišta vozila od uzdužne ravnine lijevih kotača vozila	[m]
$J_x$	moment tromosti ovještene mase oko uzdužne osi	[kgm <sup>2</sup> ]
$J_y$	moment tromosti ovještene mase oko poprečne osi	[kgm <sup>2</sup> ]

Dodavanjem modela sjedala, odnosno vozača i putnika, svaki putnik povećava broj stupnja slobode gibanja modela za jedan.

Općenito, veći broj stupnjeva slobode gibanja u modelu dovodi do točnije analize gibanja samog vozila, ali je sam proračun tada kompleksniji i zahtjeva duže vrijeme analiziranja problema. Iako je prostorni model najbolji za analizu gibanja kompletnog vozila, upravo zbog kompleksnosti izračuna, potrebe za što nižim troškovima i bržom obradom rezultata, često se za određene specifične probleme vozilo promatra kao ravninski, odnosno četvrtinski model vozila.

### 3. PARAMETRI KOJI UTJEČU NA PONAŠANJE VOZILA

Na vozilo u vožnji djeluje velik broj različitih parametara, kako samog vozila tako i okoline. Osim parametara vozila navedenih u prethodnom poglavlju, koji su potrebni za izradu modela vozila u proceduri s vertikalnom pobudom, postoje i drugi parametri vozila, parametri podloge, parametri testa i sl., a koji utječu na ponašanje vozila.

Neki od parametara koji utječu na ponašanje vozila u proceduri s vertikalnom pobudom:

- masa ovješene mase,
- masa neovješene mase,
- položaj težišta,
- momenti inercije karoserije,
- vrsta ovjesa,
- karakteritika krutosti opruge ovjesa,
- karakteristika prigušenja amortizera ovjesa,
- karakteristika krutosti gume,
- karakteristika prigušenja gume,
- dimenzije guma i kotača,
- međuosovinski razmak,
- oblik i dimenzije prepreke,
- brzina vožnje,
- neravnine podloge.

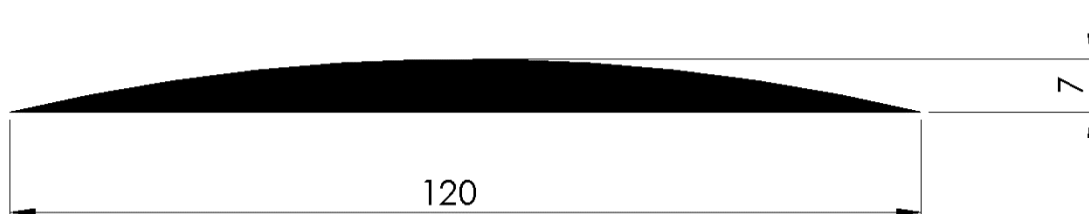
Kao izlazni rezultati simulacija dobivaju se dinamičke karakteristike koje služe za ocjenu ponašanja vozila u vožnji. U slučaju procedure s vertikalnom pobudom, za ocjenu ponašanja vozila uzimaju se dinamičke karakteristike vertikalnog pomaka, brzine i vertikalnog ubrzanja ovješene mase i središta kotača. Promatraju se još i zakret i kutno ubrzanje ovješene mase oko poprečne osi vozila (eng. *Pitch*) i uzdužne osi vozila (eng. *Roll*), te sila u središtu kotača i sila na dodiru podloge i kotača, odnosno sila na gumu. Neke od dinamičkih karakteristika prikazane su dijagramima u pojedinim ispitnim slučajevima.

## 4. PREGLED OBLIKA UMJETNIH PREPREKA ZA SMIRIVANJE PROMETA

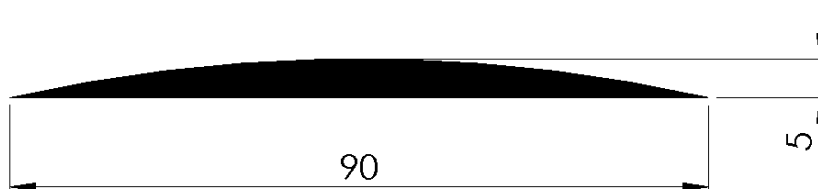
Profili prepreka za smirivanje prometa su izrađeni prema Pravilniku [2], gdje je uzeta maksimalna visina i minimalna širina zadanog intervala dimenzija, te prema primjerima prepreka uočenih na cestama grada Zagreba, gdje su dimenzije izmjerene. Dimenzije profila su izražene u centimetrima.

### 4.1. Umjetne izbočine

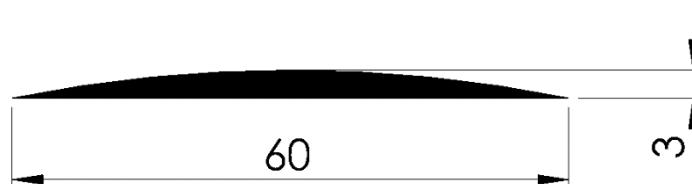
Profili umjetnih izbočina koji su izvedeni prema Pravilniku [2] su nazvani prema zoni ograničenja brzine vožnje, dok je izmjereni profil umjetne izbočine nazvan prema nazivu ulice u kojoj se nalazi. Profil je konveksnog oblika.



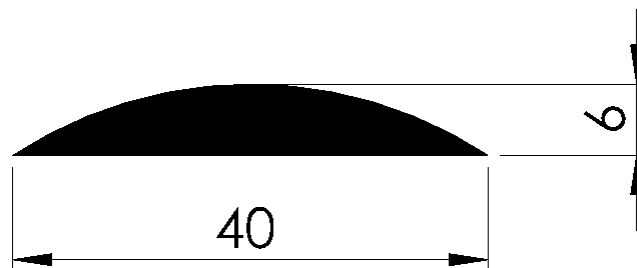
Slika 26. Profil umjetne izbočine ZONA 30



Slika 27. Profil umjetne izbočine ZONA 40



Slika 28. Profil umjetne izbočine ZONA 50



Slika 29. Profil umjetne izbočine Dobojska ulica



Slika 30. Umjetna izbočina postavljena u Dobojskoj ulici

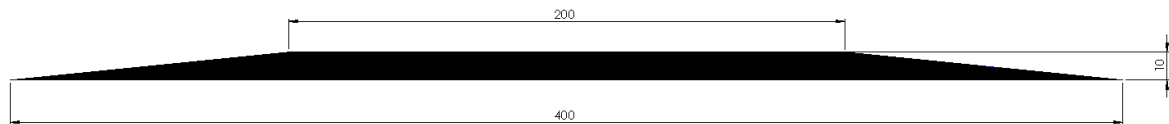
#### 4.2. Uzdignute plohe

Nazivi su izvedeni prema nazivu ulice u kojoj se nalazi uzdignuta ploha. Oznaka „1“ uz naziv označava prepreku koja je već neko vrijeme postavljena na pripadajućoj cesti, a oznaka „2“ označava prepreku koja je novopostavljena, kao zamjena prethodnoj. Profil je trapeznog oblika.



Slika 31. Profil uzdignute plohe Nova cesta 1





Slika 32. Profil uzdignute plohe Nova cesta 2



Slika 33. Uzdignuta ploha na Novoj cesti



Slika 34. Novopostavljena uzdignuta ploha na Novoj cesti

Obje uzdignute plohe su postavljene u zoni ograničenja brzine vožnje na 40 km/h.

### 4.3. Primjeri nepravilno postavljenih i dotrajalih prepreka za smirivanje prometa

Na cestama se često mogu pronaći primjeri nepravilno postavljenih i dotrajalih prepreka za smirivanje prometa. Takve prepreke značajno utječu na ponašanje vozila pri prelasku preko istih. Nepravilno postavljanje se može uočiti na slici 35. gdje je prikazana umjetna izbočina u Dobojskoj ulici i gdje vijak viri iznad razine prepreke, a što može dovesti do znatnih oštećenja gume prilikom prelaska prepreke. Na preprekama izrađenim od više spojenih gumenih elemenata najčešće dolazi do međusobnog razdvajanja elemenata i izdizanja te do izdizanja cijele prepreke od kolničkog zastora. To sve uvelike mijenja sam profil prepreke, samim time i dinamiku vozila pri prelasku preko prepreke.



Slika 35. Nepravilno postavljena umjetna izbočina u Dobojskoj ulici



Slika 36. Primjer razdvajanja gumenih elemenata na prepreci na Novoj cesti





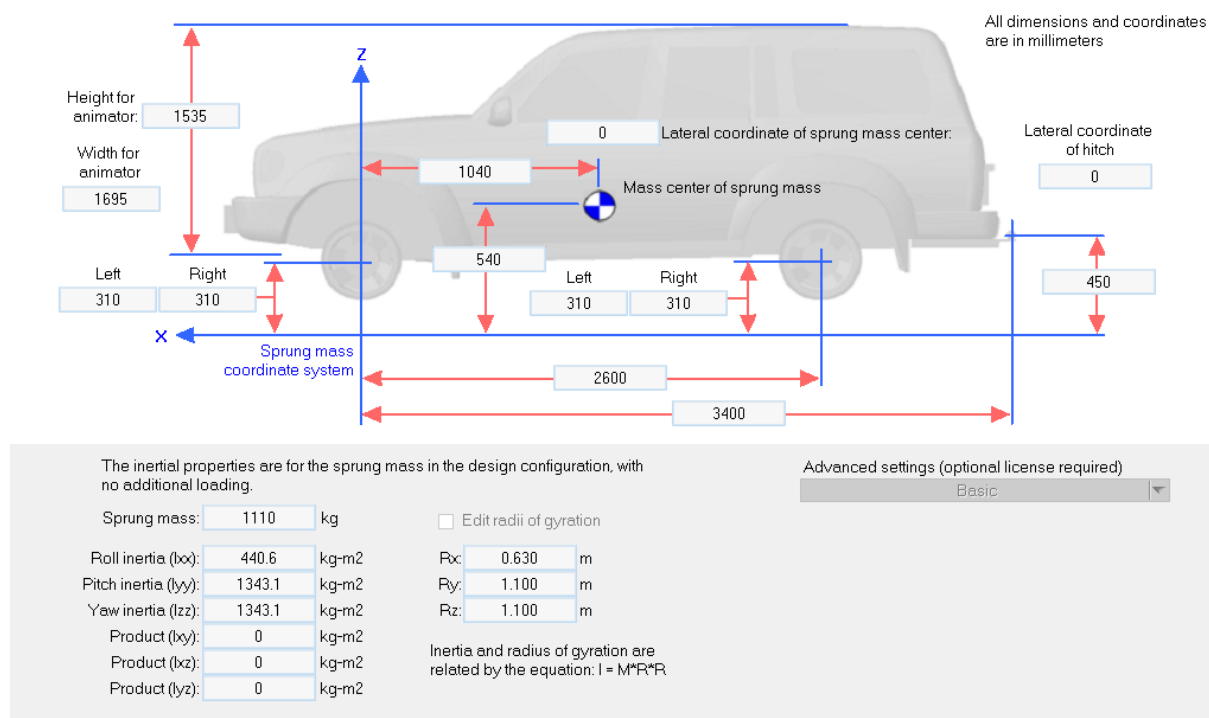
**Slika 37. Primjer izdizanja prepreke od kolničkog zastora**



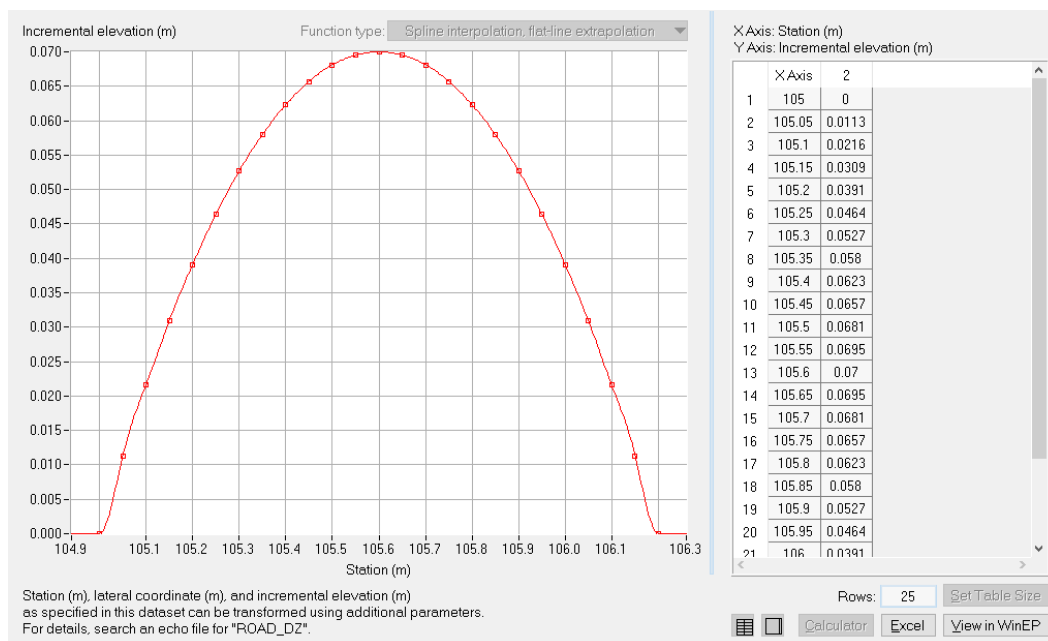
**Slika 38. Primjer međusobnog izdizanja gumenih elemenata**

## 5. REZULTATI I ANALIZA SIMULACIJA

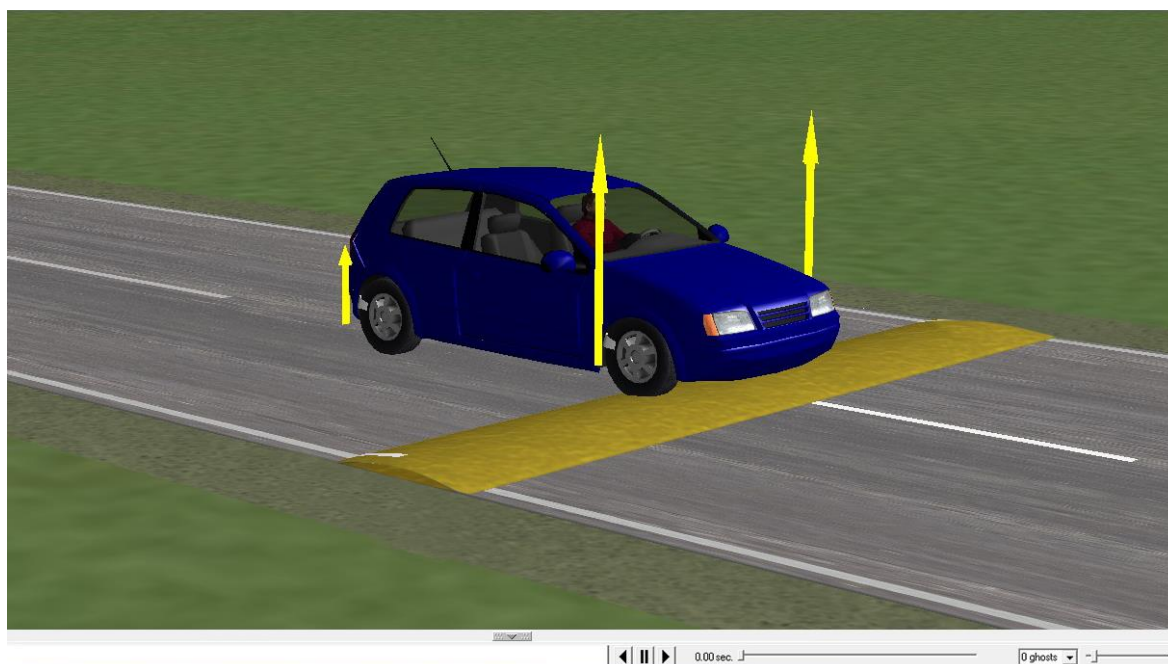
Modeli vozila i ispitne procedure s vertikalnom pobudom su simulirane u programskom paketu CarSim. Simulacije su izvedene sa zadanim modelom vozila iz skupine „B-Class Hatchback“ kojoj pripadaju vozila poput Renault Clio, Ford Fiesta, VW Polo, Toyota Yaris, Citroën C3 i sl. Za ispitnu proceduru simulacija uzeta je postojeća procedura „Small, Sharp Bump“ u koju su naknadno dodani svi profili prepreka za smirivanje prometa izrađeni prema XZ koordinatnom sustavu. Sve simulirane prepreke su promatrane kao zadani profil koji se proteže cijelom širinom kolnika. Vertikalni pomaci središta kotača i težišta ovješene mase su na dijagramima prikazani koordinatom Z.



Slika 39. B-Class Hatchback model vozila odabran u programskom paketu CarSim



Slika 40. Izrada profila prepreke ZONA 30 u programskom paketu CarSim

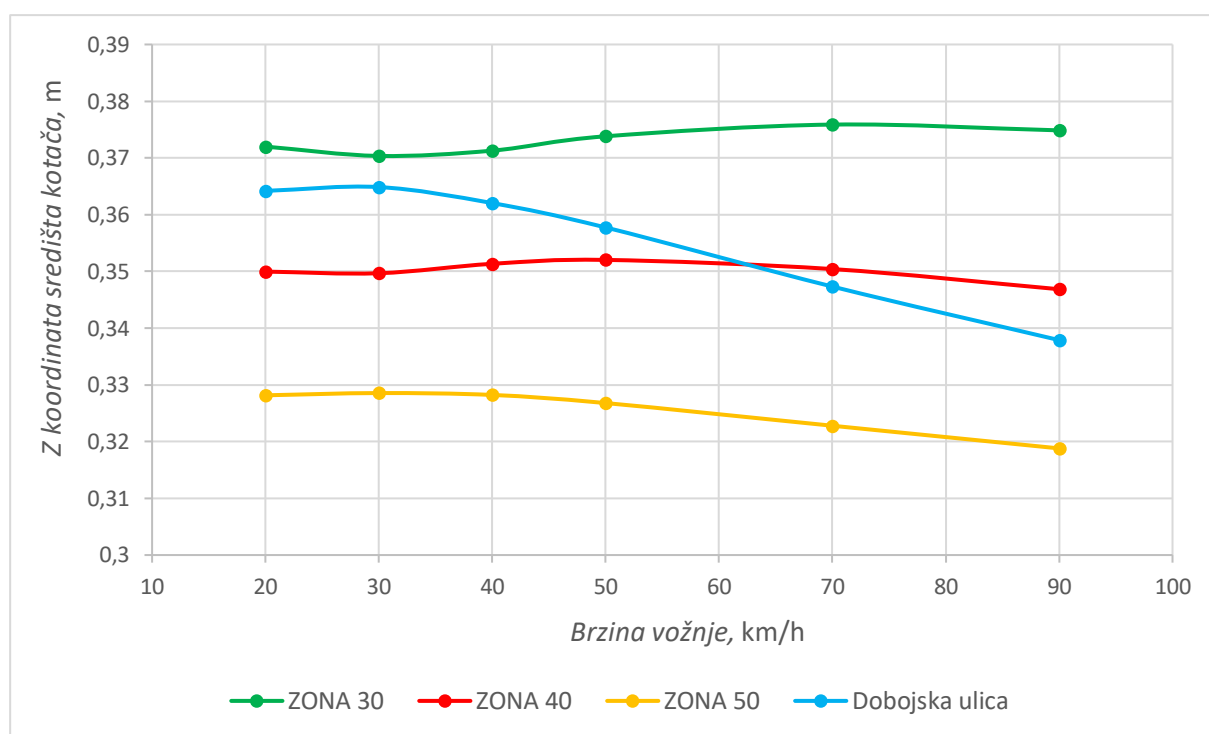


Slika 41. Prikaz isječka animacije ispitne procedure *Small, Sharp Bump* iz programskog paketa CarSim

### 5.1. Usporedba umjetnih izbočina različitih dimenzija pri različitim brzinama prelaska

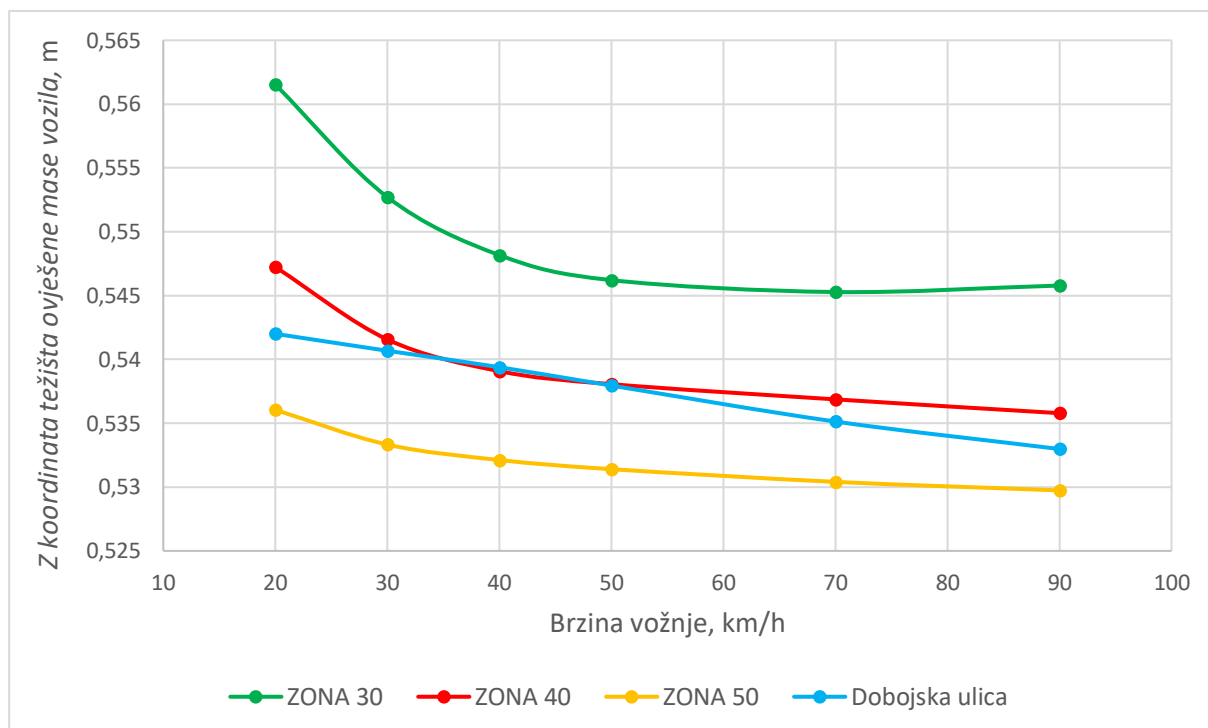
Uspoređene su umjetne izbočine ZONA 30, ZONA 40, ZONA 50 i Dobojska ulica koja je postavljena u zoni ograničenja brzine vožnje na 40 km/h. Brzine prelaska vozila preko prepreka su: 20, 30, 40, 50, 70 i 90 km/h.

Prilikom prelaska vozila preko prepreka, povećanjem brzine kretanja vozila dolazi do blagog rasta, a zatim pada vertikalnog pomaka središta kotača kod svih prepreka, ali se najviše izdvaja Dobojska ulica gdje je pad izraženiji (slika 42.). Pomaci na dijagramima (slika 42. i 43.) su prikazani koordinatom Z. Dio vertikalnog pomaka središta kotača, gledano u odnosu na visinu, kompenzacija je uslijed deformiranja elastične gume. Povećanjem brzine vožnje smanjuje se vrijeme prelaska vozila preko prepreke te samim time i kotač dostiže manji pomak.



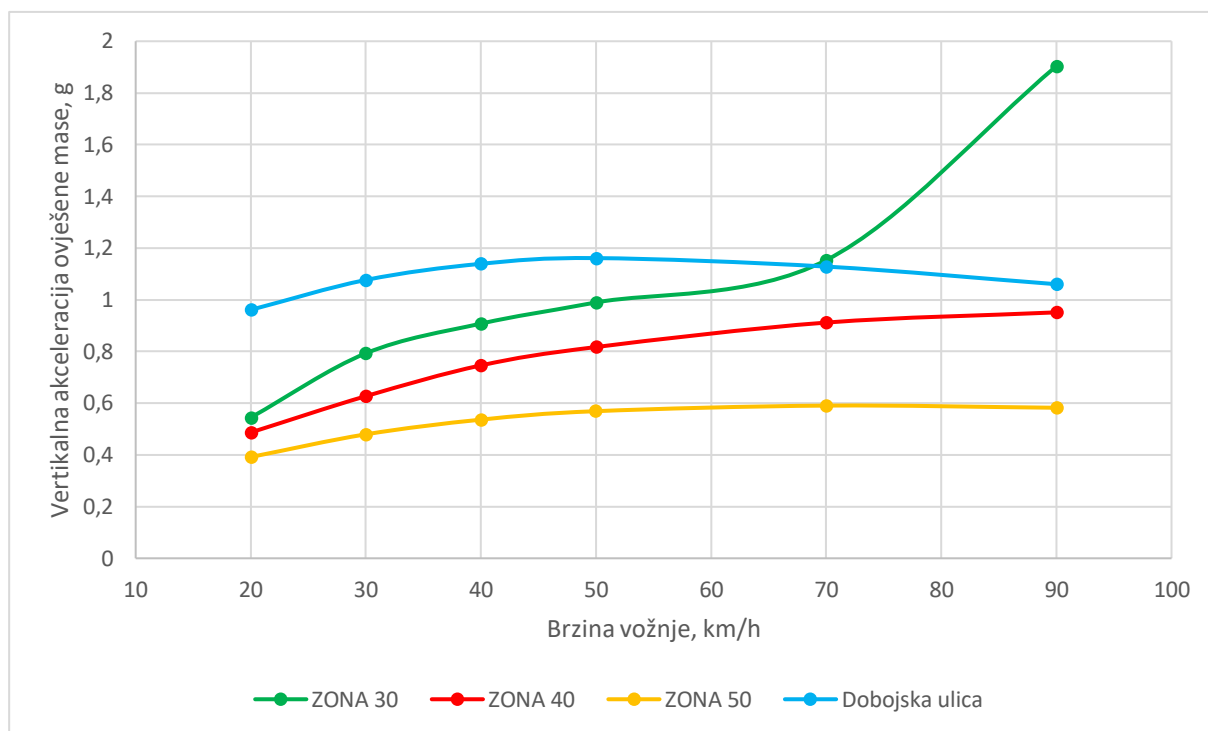
Slika 42. Dijagram ovisnosti Z koordinate središta kotača o brzini vožnje

Također, s povećanjem brzine vožnje dolazi do smanjenja vertikalnog pomaka ovješene mase vozila, što je vidljivo da dijagramu na slici 43. Na umjetnoj izbočini Dobojska ulica ta je karakteristika gotovo linearna, dok na ZONA 30 dolazi i do povećanja vertikalnog pomaka ovješene mase na brzinama većim od 70 km/h.



**Slika 43. Dijagram ovisnosti Z koordinate težišta ovješene mase o brzini vožnje**

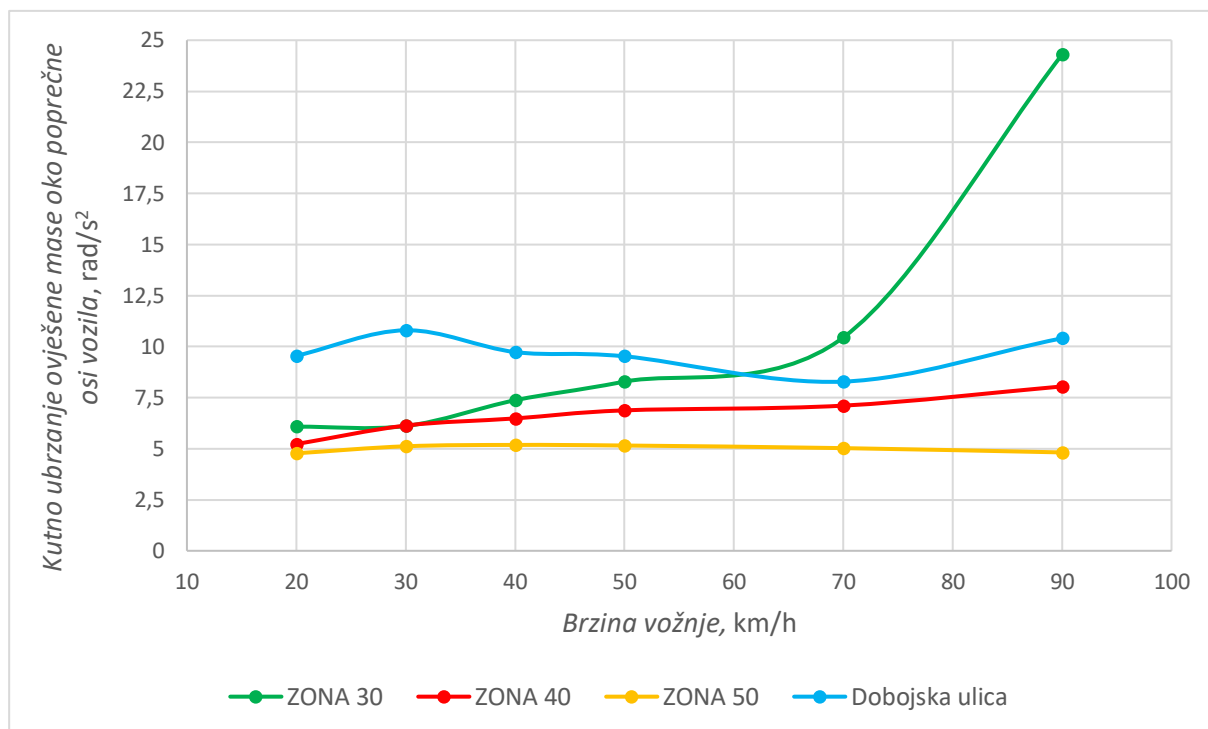
Porastom brzine vožnje vertikalna akceleracija ovješene mase raste kod prepreka ZONA 30 i ZONA 40, a blago raste i zatim opada kod prepreka ZONA 50 i Dobojska ulica (slika 44.). Kod svih prepreka je primjetan prvotni rast vertikalne akceleracije ovješene mase nakon brzine koja odgovara zoni ograničenja brzine kretanja vozila za tu prepreku.



Slika 44. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovještene mase o brzini vožnje

Kutno ubrzanje ovještene mase oko poprečne osi vozila nije strogo definirano povećanjem brzine na primjeru odabranih prepreka prikazanih dijagramom na slici 45. Kod prepreka ZONA 30 i ZONA 40 kutno ubrzanje ovještene mase raste, kod prepreke ZONA 50 blago raste, a zatim pada, dok se prepreka Dobojska ulica izrazito izdvaja svojom karakteristikom koja ima i rast i pad. Povećanje kutnog ubrzanja ovještene mase je drastično na većim brzinama prilikom prelaska preko prepreke ZONA 30.





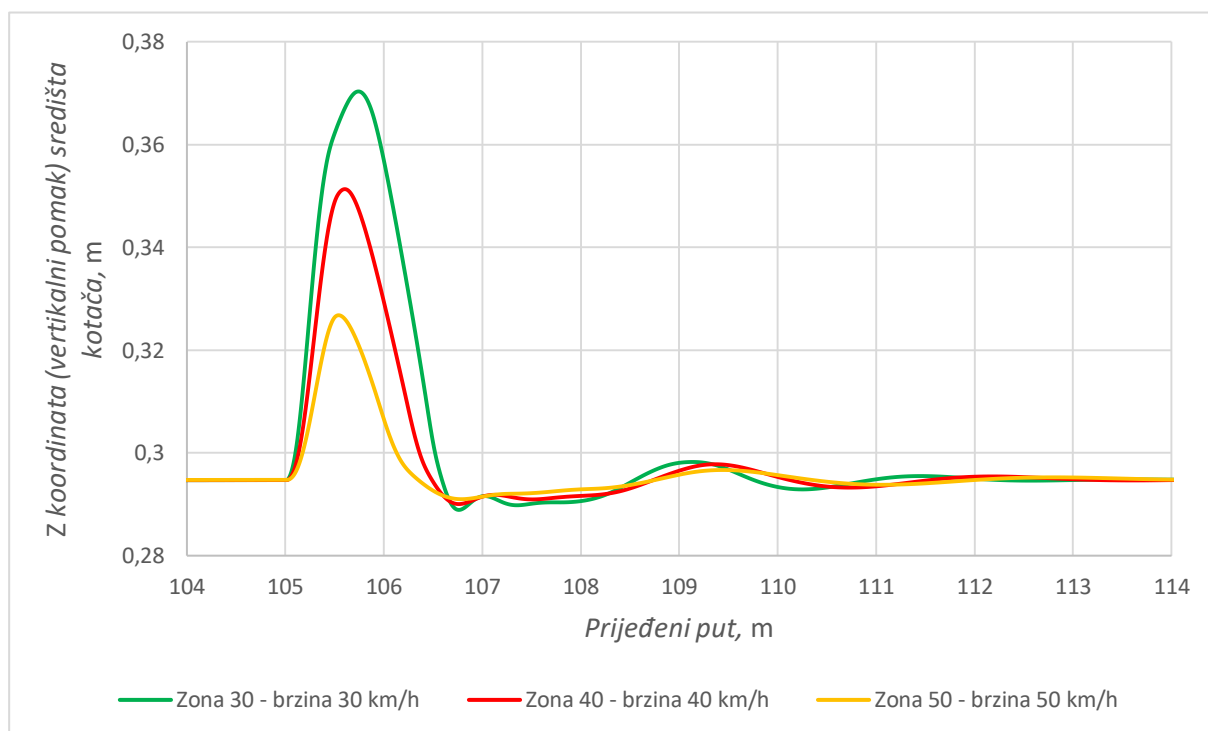
**Slika 45. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o brzini vožnje**

Najveći vertikalni pomaci središta kotača i ovještene mase se postižu pri nižim brzinama i na preprekama veće visine. Na prepreci ZONA 30, koja ima najveću visinu, dolazi do drastičnog povećanja vertikalne i kutne akceleracije ovještene mase vozila, a što ukazuje na povećanje neudobnosti vožnje prilikom prelaska preko prepreke. Smanjenje udobnosti vožnje potiče vozača na smanjenje brzine kretanja vozila, što povećava sigurnost pješaka i drugih sudionika prometa. Upravo se zbog toga prepreke veće visine postavljaju u najstrože ograničenim zonama kretanja vozila kao što su blizina škole, dječjih vrtića, dječjih igrališta, šetnica i sl.

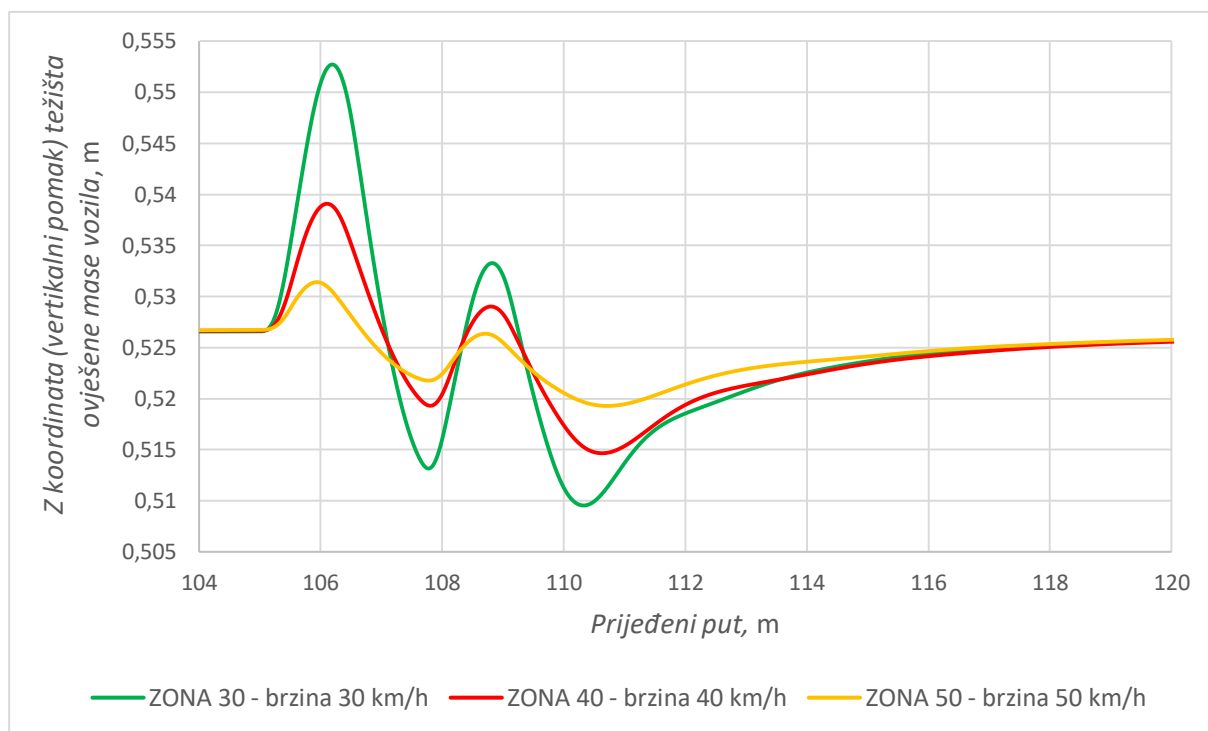
## 5.2. Usporedba prelaska vozila preko umjetnih izbočina odgovarajućom brzinom

Simuliran je prelazak preko tri umjetne izbočine brzinama koje odgovaraju zoni ograničenja brzine vožnje za koju su prepreke namijenjene:

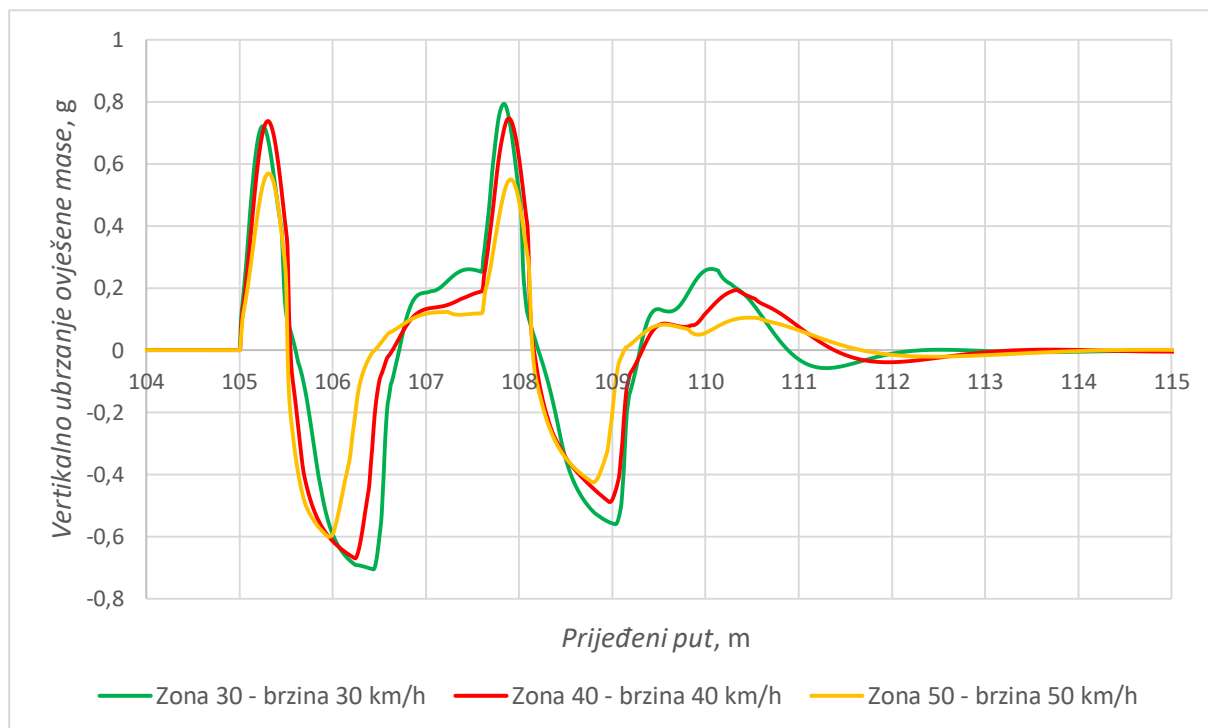
- ZONA 30 – 30 km/h,
- ZONA 40 – 40 km/h,
- ZONA 50 – 50 km/h.



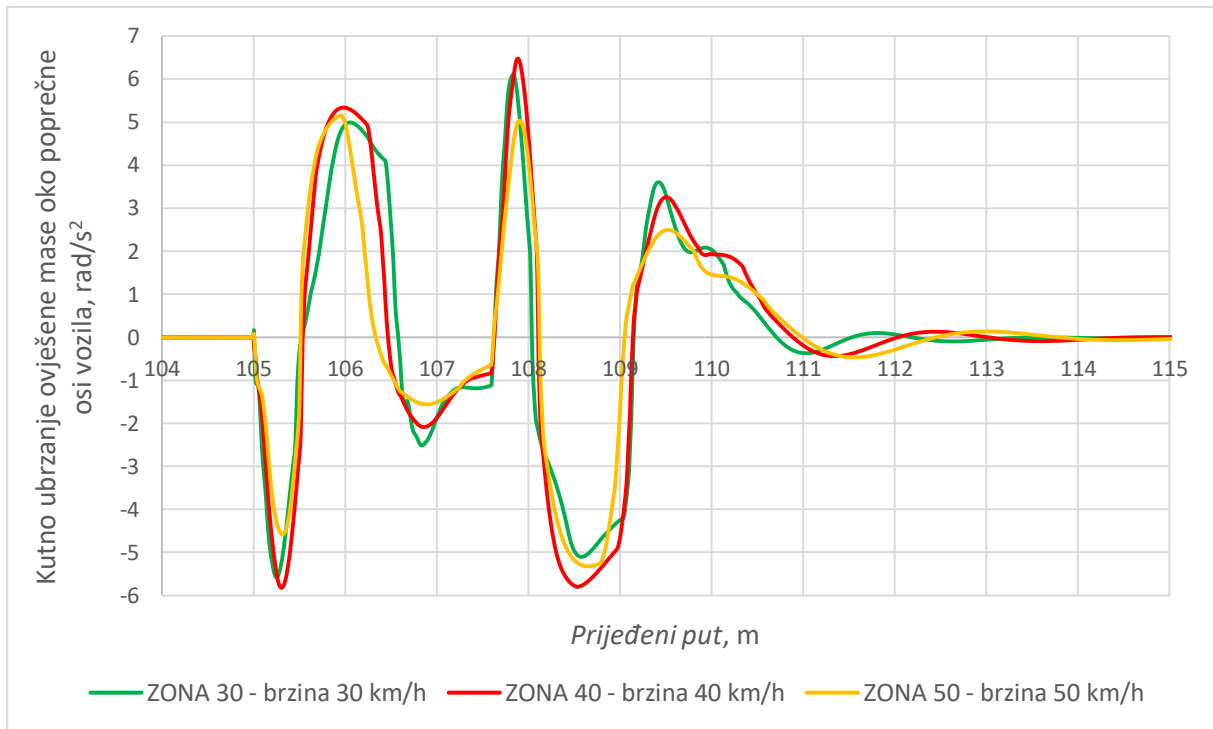
**Slika 46. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu**



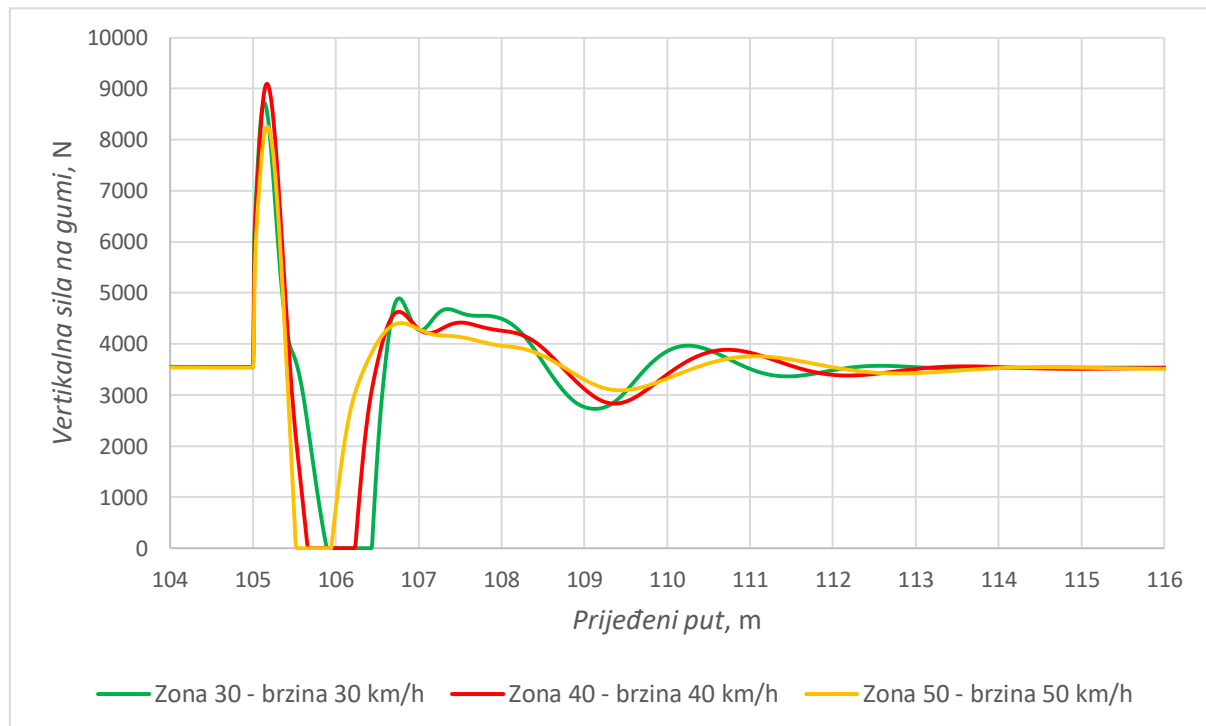
**Slika 47. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovješene mase o prijeđenom putu**



**Slika 48. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovješene mase o prijeđenom putu**



**Slika 49. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila o prijednom putu**



**Slika 50. Dijagram ovisnosti vertikalne sile na gumi o prijednom putu**

Na dijagramima (slika 46. – 49.) se uočava da karakteristike međusobno odgovaraju oblikom, uz mala odstupanja amplituda, gotovo su u fazi, a do smirivanja oscilacija dolazi nakon gotovo jednakog prijeđenog puta. To ukazuje da se vozilo jednako ponaša prilikom prelaska preko odgovarajuće prepreke pripadnom brzinom, odnosno da su međusobno dimenzije prepreka jednako prilagođene brzini vožnje namjenjenoj za tu prepreku. Uočava se i povećana amplituda vertikalnog ubrzanja ovješene mase (slika 48.) koja ukazuje na smanjenje udobnosti prilikom prelaska preko prepreke, što pokazuje da dimenzije prepreka nisu prilagođene brzini vožnje kojoj su namjenjene. Promatrajući karakteristiku vertikalne sile na gumi (slika 50.) uočava se visoka amplituda sile te dolazi do pada iznosa sile u nulu. Prilikom prelaska vozila preko prepreke dolazi do nagnjanja oko poprečne osi vozila, odnosno podizanja prednje osovine i preraspodjele opterećenja na stražnju osovinu vozila. Povećanjem brzine kretanja vozila može doći do „preskakanja“ prepreke, odnosno odvajanja prednjih kotača od podloge što se u dijagramu očituje kao pad iznosa sile na nulu. Prilikom vožnje vozilo mora u svakom trenutku biti u dodiru s podlogom pa je jasno da ovakva pojava dovodi do smanjenja upravljivosti vozila što uvelike smanjuje i sigurnost. Upravo zbog toga, odabrane prepreke nisu dimenzijama dobro prilagođene brzini ograničenja za koju su namjenjene.

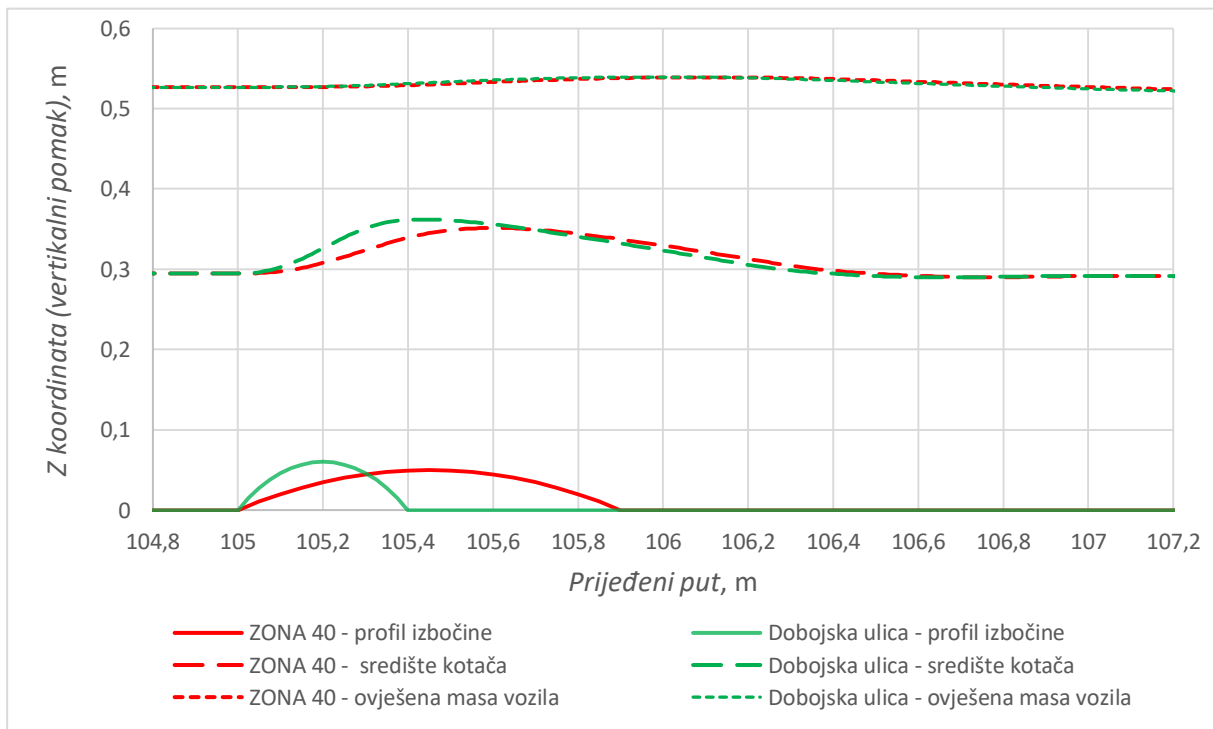
### 5.3. Usporedba umjetnih izbočina različitih dimenzija postavljenih u istoj zoni ograničenja brzine

Simuliran je prelazak preko prepreke ZONA 40 i Dobojska ulica brzinom 40 km/h koja odgovara zoni ograničenja brzine vožnje u kojoj su postavljene.

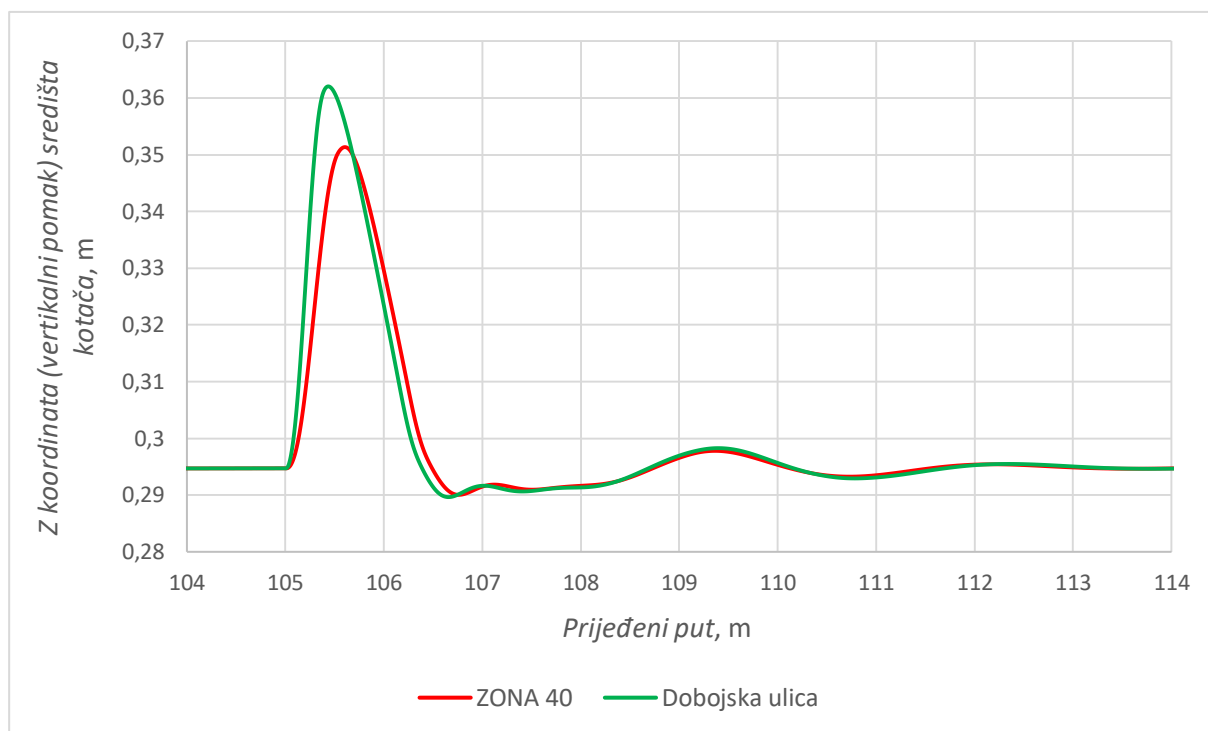
Dimenzije prepreka:

ZONA 40 – visina 5 cm, širina 90 cm,

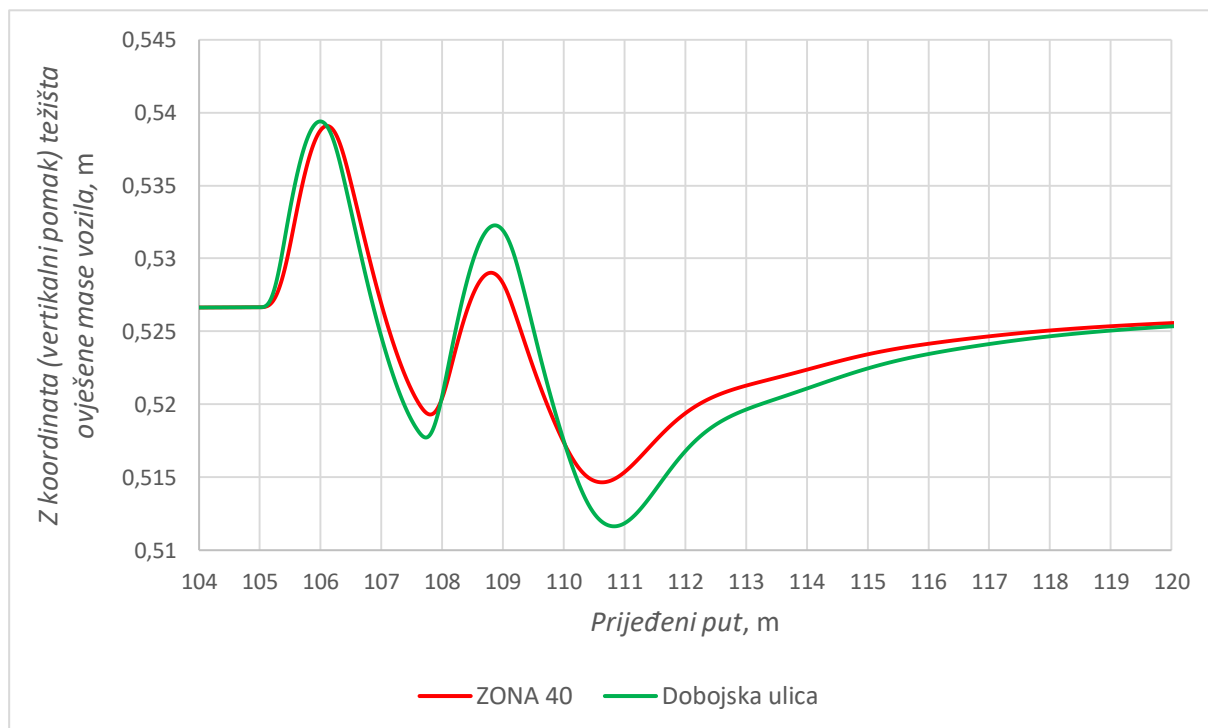
Dobojska ulica – visina 6 cm, širina 40 cm.



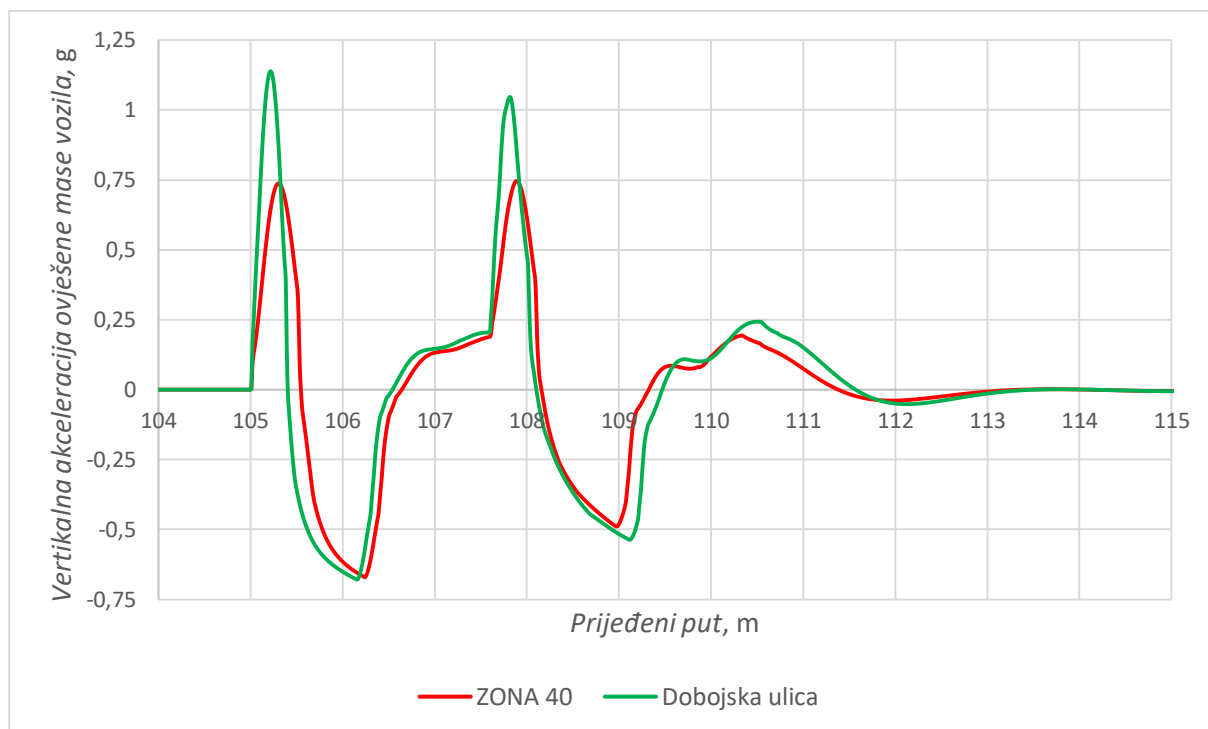
**Slika 51. Dijagram ovisnosti visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovješene mase o prijednom putu**



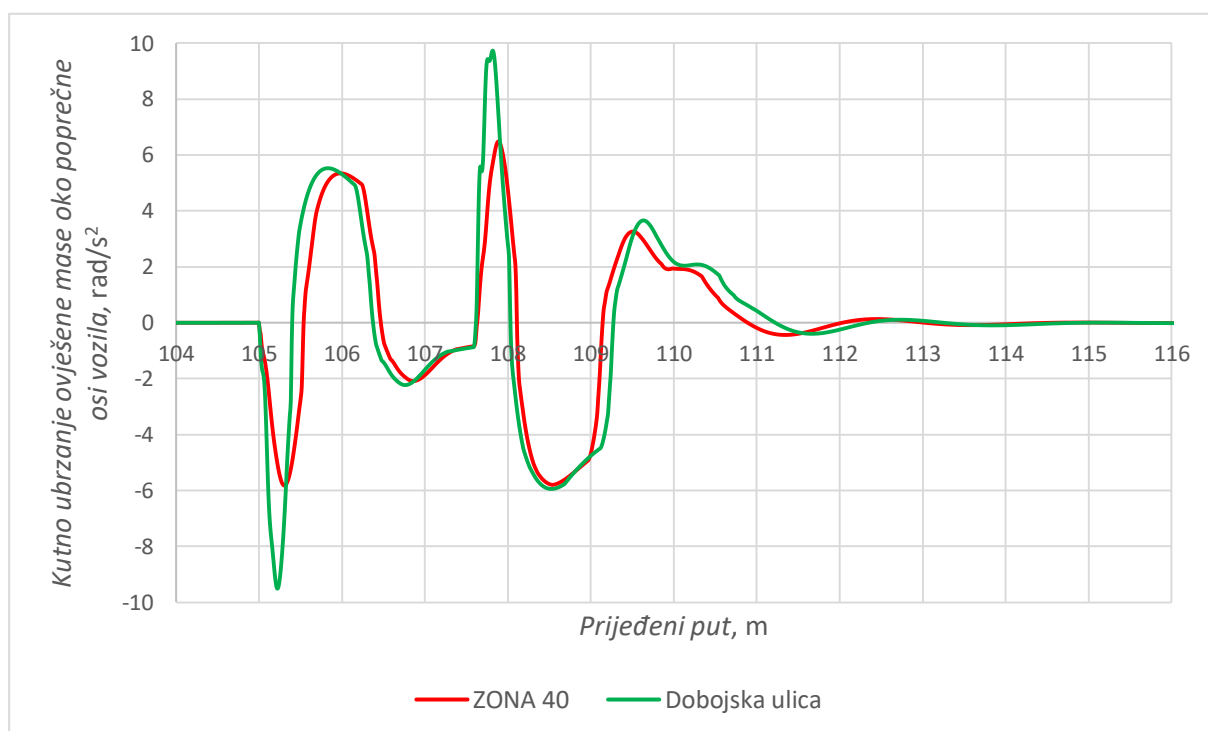
**Slika 52.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu



**Slika 53.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijeđenom putu



Slika 54. Dijagram ovisnosti vertikalne akceleracije ovještene mase vozila o prijeđenom putu



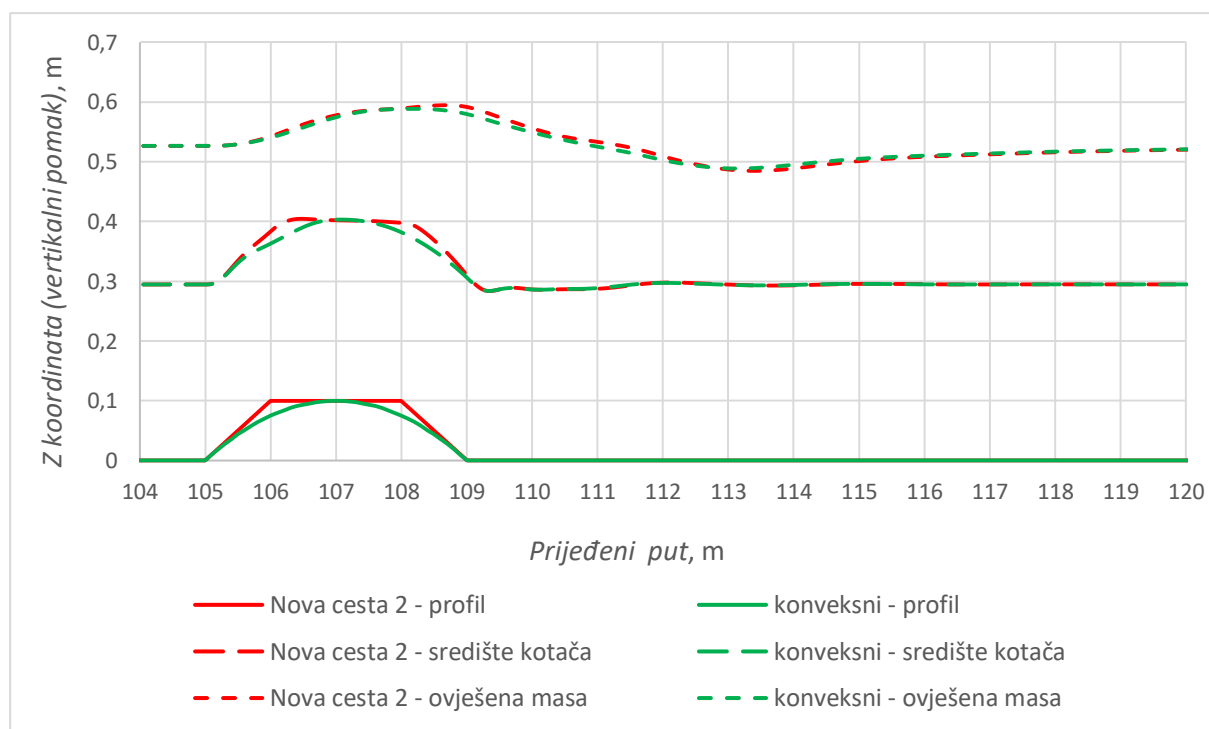
Slika 55. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu



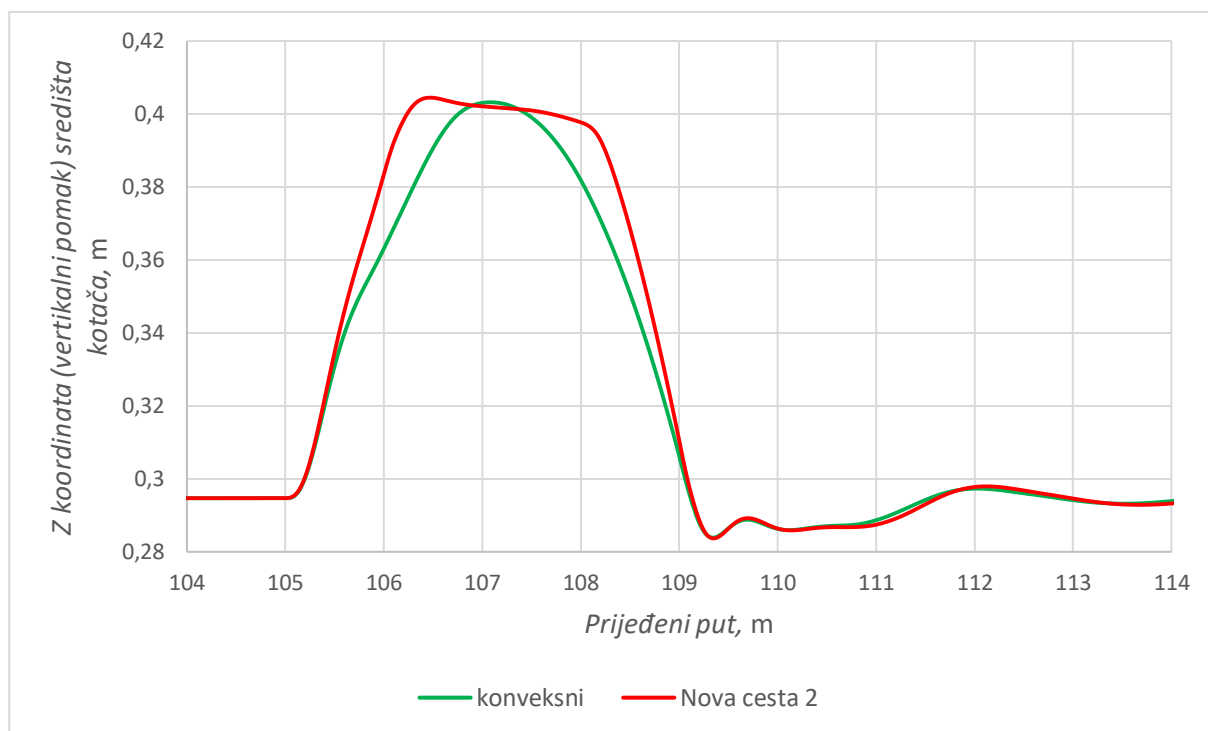
Karakteristike vertikalnog pomaka središta kotača i vertikalnog pomaka ovješene mase se gotovo podudaraju (slika 52. i slika 53.). Na oba dijagrama se uočava da su razlike amplituda zanemarivo male. Značajna razlika se uočava na dijagramu vertikalne akceleracije ovješene mase (slika 54.), kao i na dijagramu kutne akceleracije ovješene mase (slika 55.), gdje su veće amplitude akceleracije pri prelasku preko prepreke Dobojska ulica. Veći kut nagiba prepreke u Dobojskoj ulici u odnosu na prepreku ZONA 40 smanjuje udobnost vožnje prilikom prelaska vozila.

#### 5.4. Usporedba prelaska preko umjetne izbočine i uzdignute plohe istih dimenzija istom brzinom

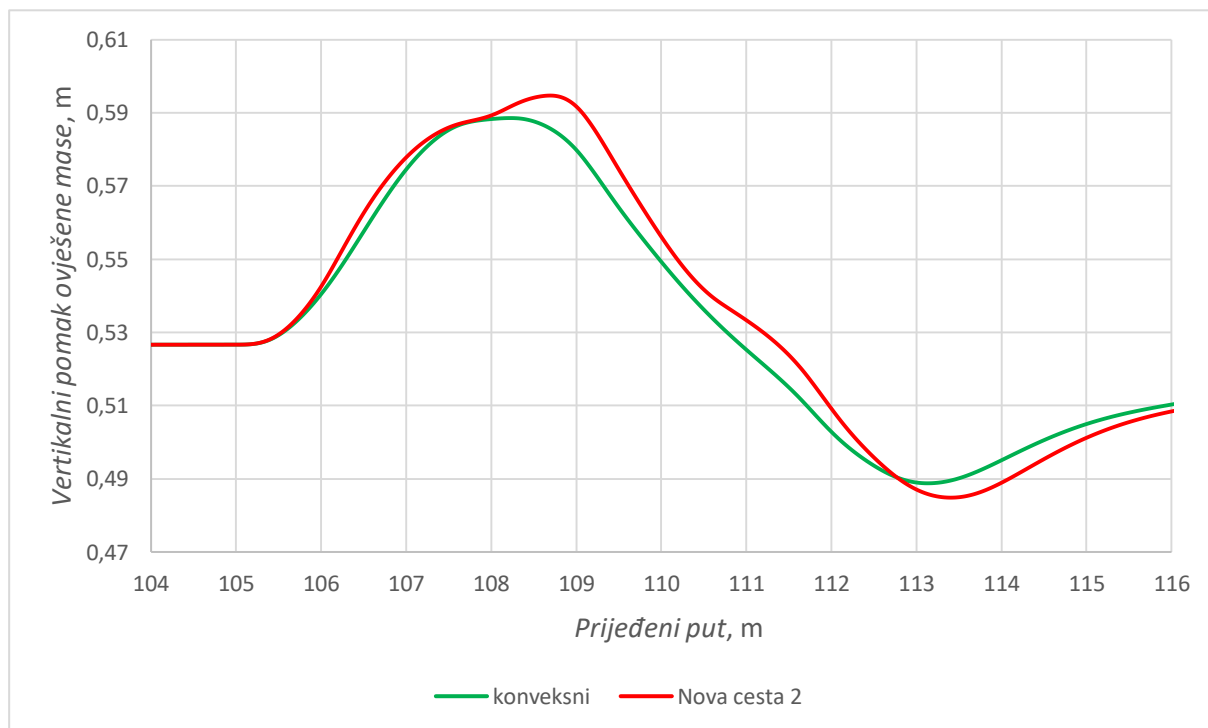
Uspoređene su simulacije prelaska vozila preko uzdignute plohe Nova cesta 2 trapeznog profila i konveksnog profila istih dimenzija (širina 400 cm i visina 10 cm) brzinom 40 km/h.



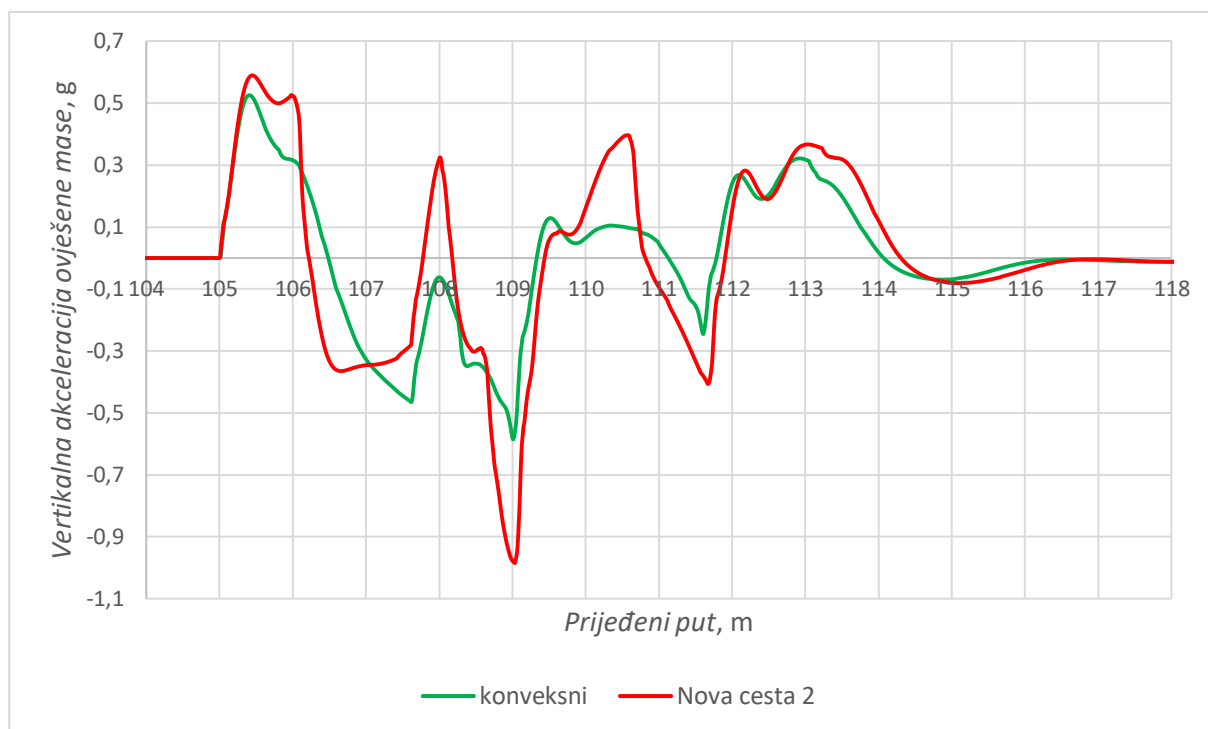
**Slika 56. Dijagram ovisnosti visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovješene mase o prijeđenom putu**



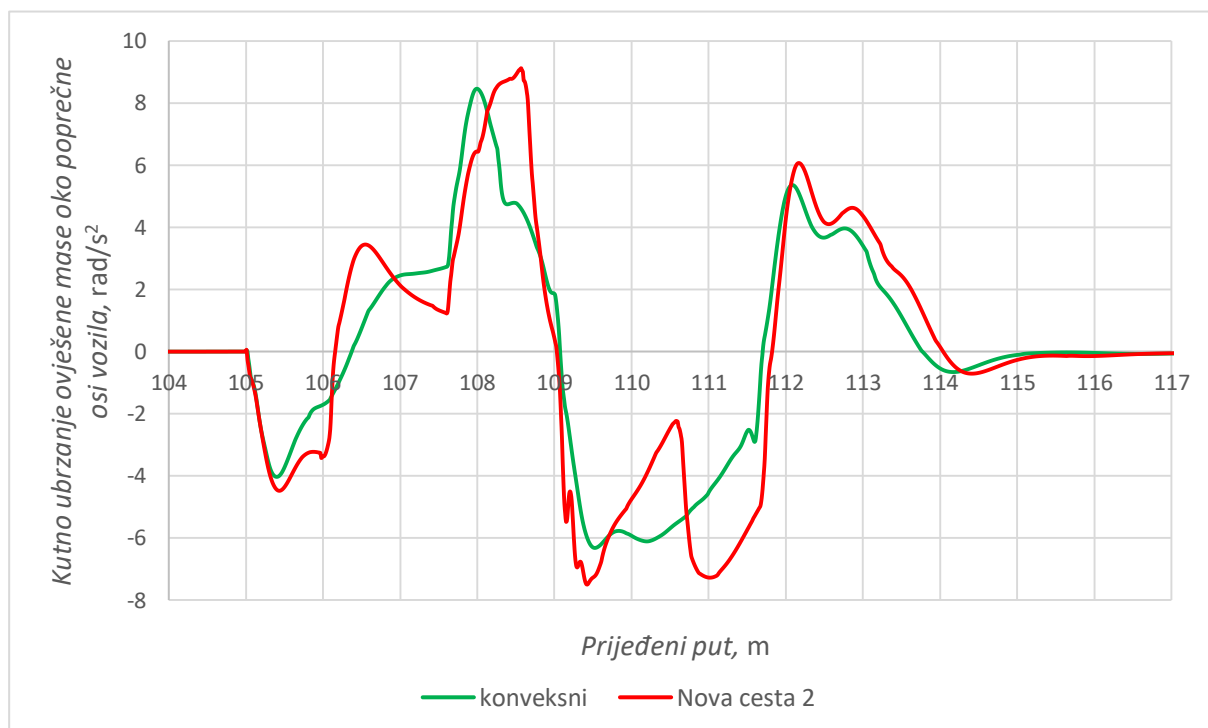
**Slika 57.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijednom putu



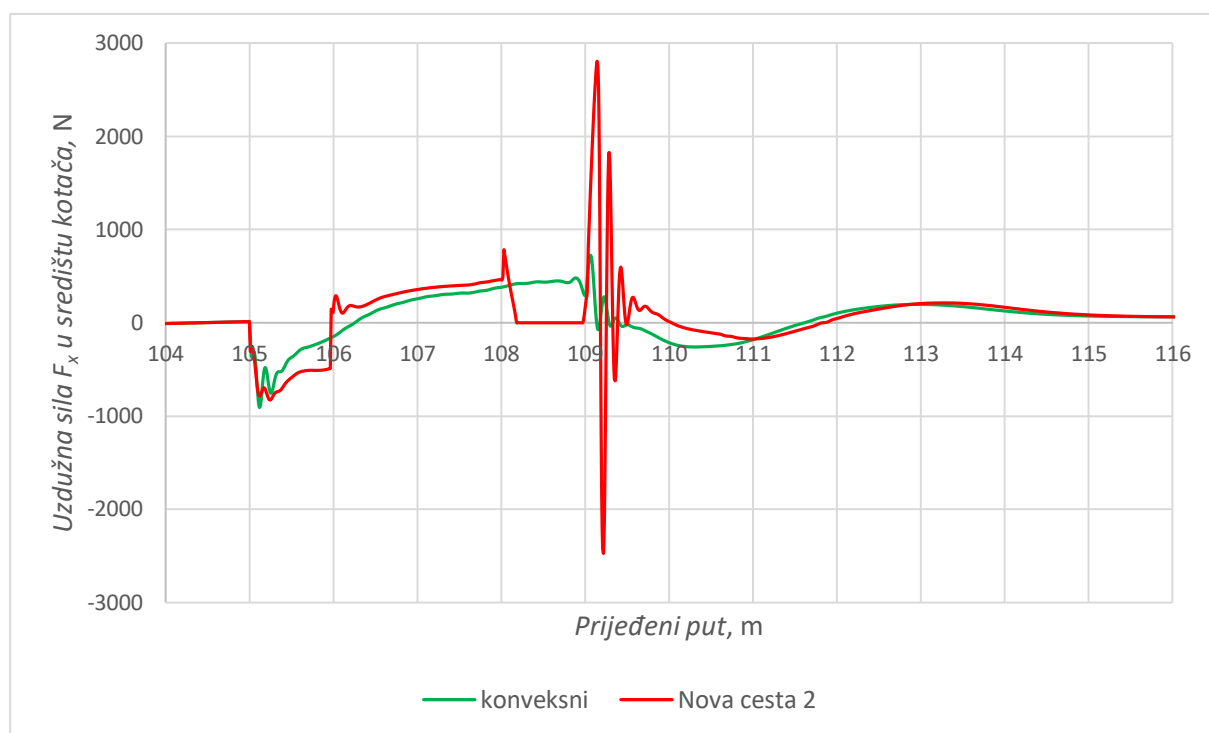
**Slika 58.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijednom putu



Slika 59. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovješene mase o prijeđenom putu



Slika 60. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu



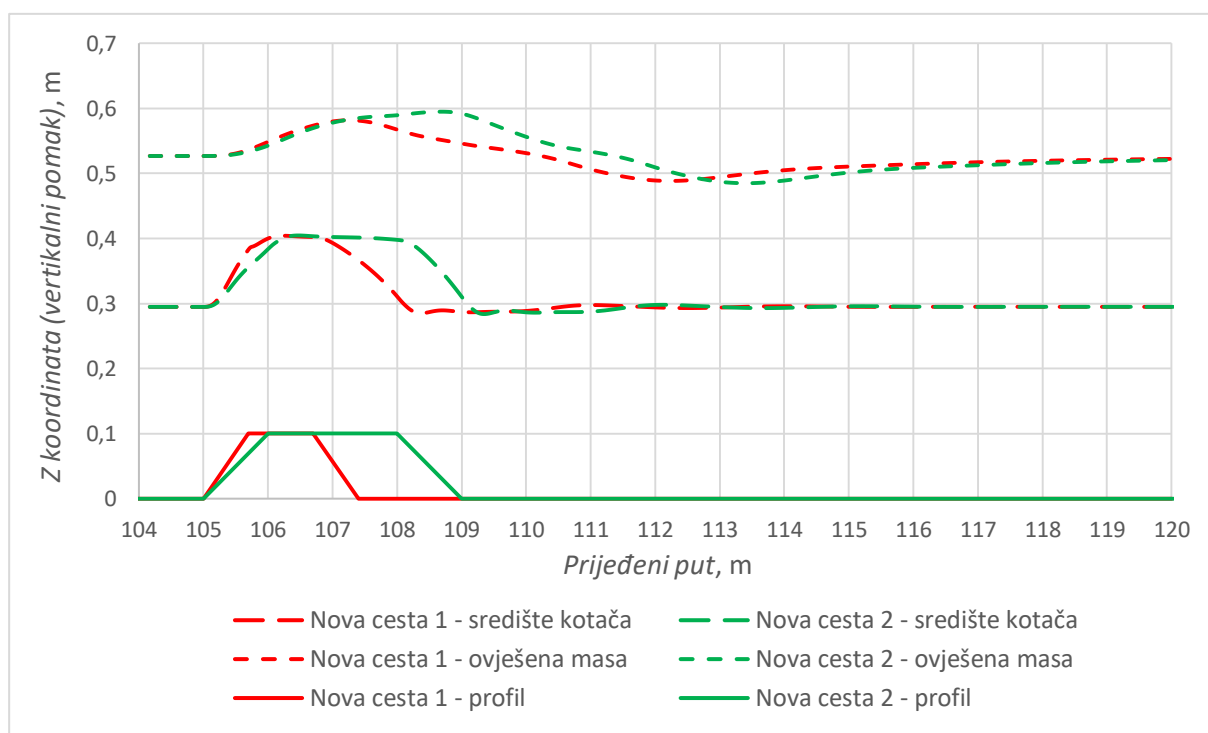
**Slika 61. Dijagram ovisnosti uzdužne sile  $F_x$  u središtu kotača o prijeđenom putu**

Na dijagramu na slici 56. dana je usporedba dinamičkih karakteristika pomaka središta kotača i pomaka težišta ovješene mase vozila u odnosu na profil prepreka. Pomaci su izraženi preko koordinate  $Z$ . Na uvećanom prikazu tih karakteristika, na dijagramima na slikama 57. i 58., uočava se da vertikalni pomak središta kotača prati profil pojedine prepreke, dok su karakteristike vertikalnog pomaka težišta gotovo jednake, uz nešto veće amplitude kod trapezne prepreke Nova cesta 2. Karakteristike vertikalnog i kutnog ubrzanja ovješениh masa vozila su također slične, ali uz izraženije amplitude kod prepreke Nova cesta 2. Pri prelasku automobila preko prepreka, unatoč vrlo malim razlikama vertikalnih pomaka središta kotača i težišta ovješениh masa, zbog razlike u akceleracijama konveksna prepreka istih dimenzija širine i visine kao trapezna je ugodnija za prelazak. Pri usporedbi uzdužnih sila  $F_x$  u središtu kotača (slika 61.) primjetna je prvotna negativna vrijednost sile što ukazuje na pojavu reakcijske sile pri samom dodiru vozila, odnosno kotača, s preprekom. Nakon toga sila raste s penjanjem na prepreku, a spuštanjem s prepreke zbog kratkotrajnog udara dolazi do oscilacija vrijednosti te konačnog smirivanja. No, u slučaju prepreke trapeznog oblika, ponašanje uzdužne sile je identično sve do trenutka kada sila pada u nulu, što se pripisuje pojavi kada se kotač odvoji od podloge, zbog preraspodjele težine na stražnju osovinu i povećane brzine. Nakon toga slijedi dio kada sila oscilira, ali u ovoj slučaju sa značajnom razlikom amplituda u odnosu na

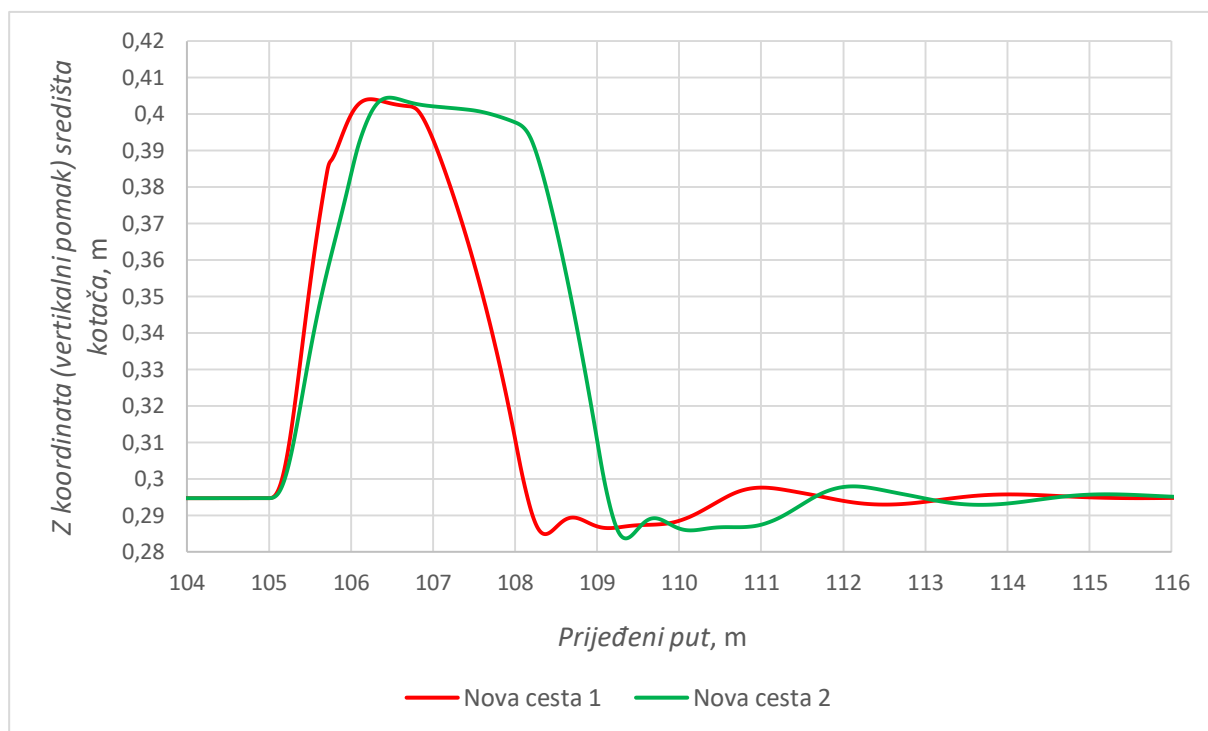
konveksni oblik prepreke. Dakle, i u ovom slučaju se pokazuje da konveksni oblik prepreke više pridonosi udobnosti od trapeznog oblika iste visine i širine.

### 5.5. Usporedba uzdignutih ploha različitih dimenzija postavljenih u istoj zoni ograničenja brzine

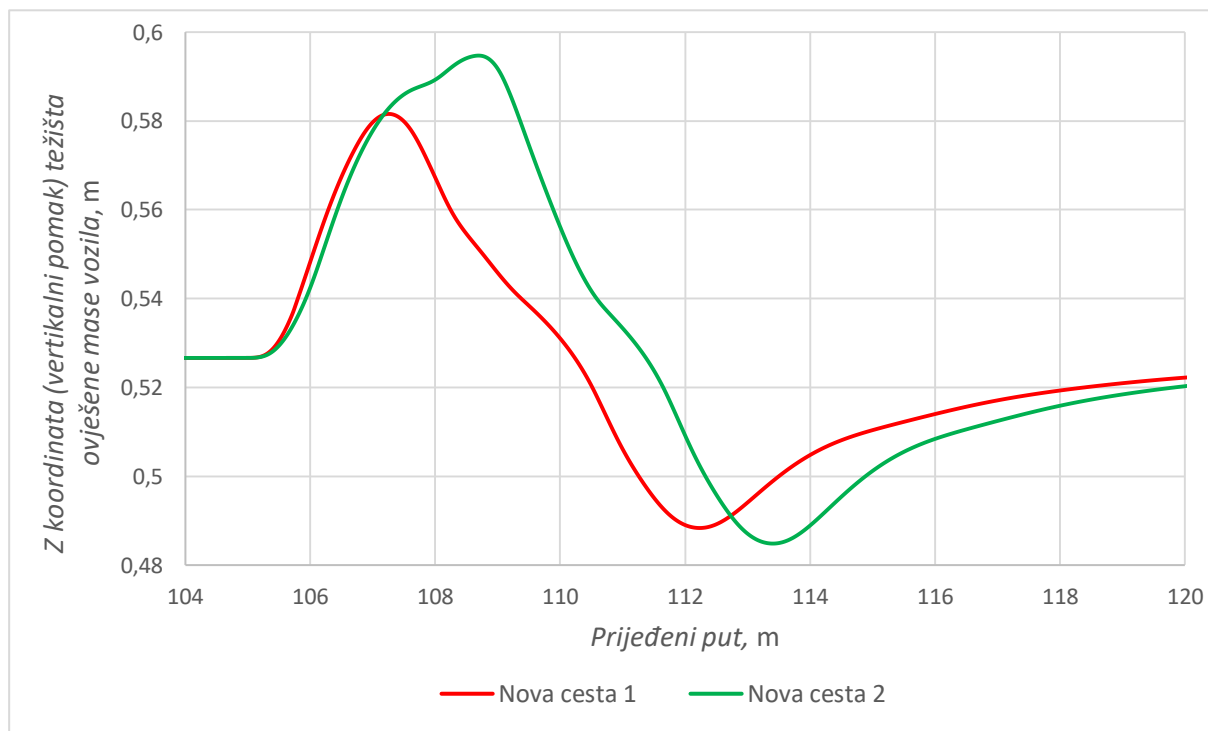
Simuliran je prelazak vozila preko uzdignutih ploha, Nova cesta 1 i Nova cesta 2, različitih dimenzija postavljenih u istoj ulici zone ograničenja 40 km/h što je ujedno i brzina korištena u simulacijama.



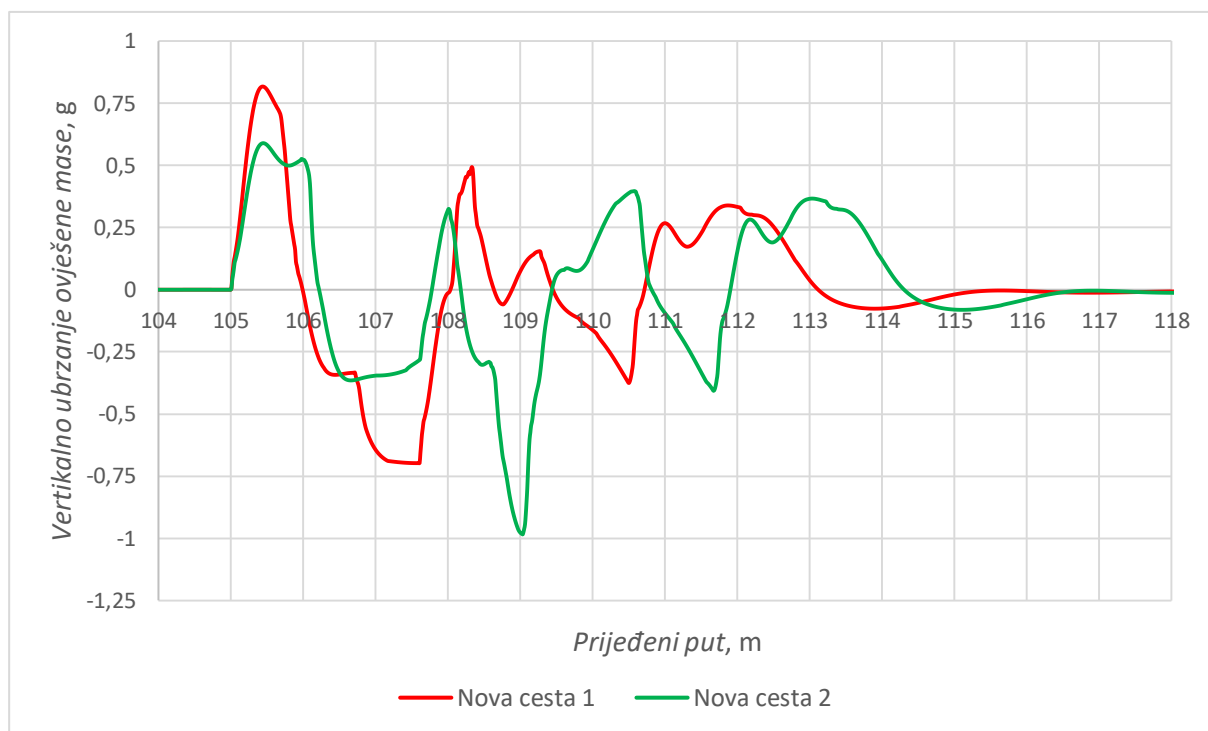
**Slika 62. Dijagram usporedbe visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovješene mase o prijeđenom putu**



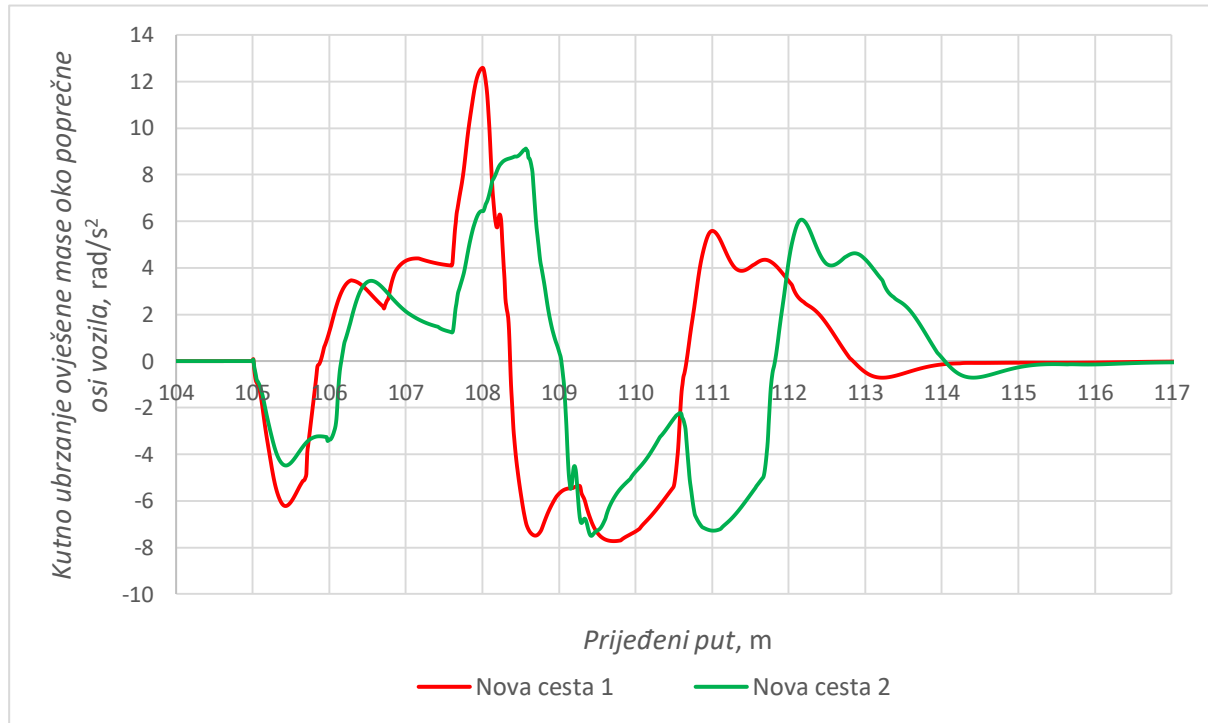
**Slika 63.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijeđenom putu



**Slika 64.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) ovještene mase o prijeđenom putu



Slika 65. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovještene mase o prijeđenom putu



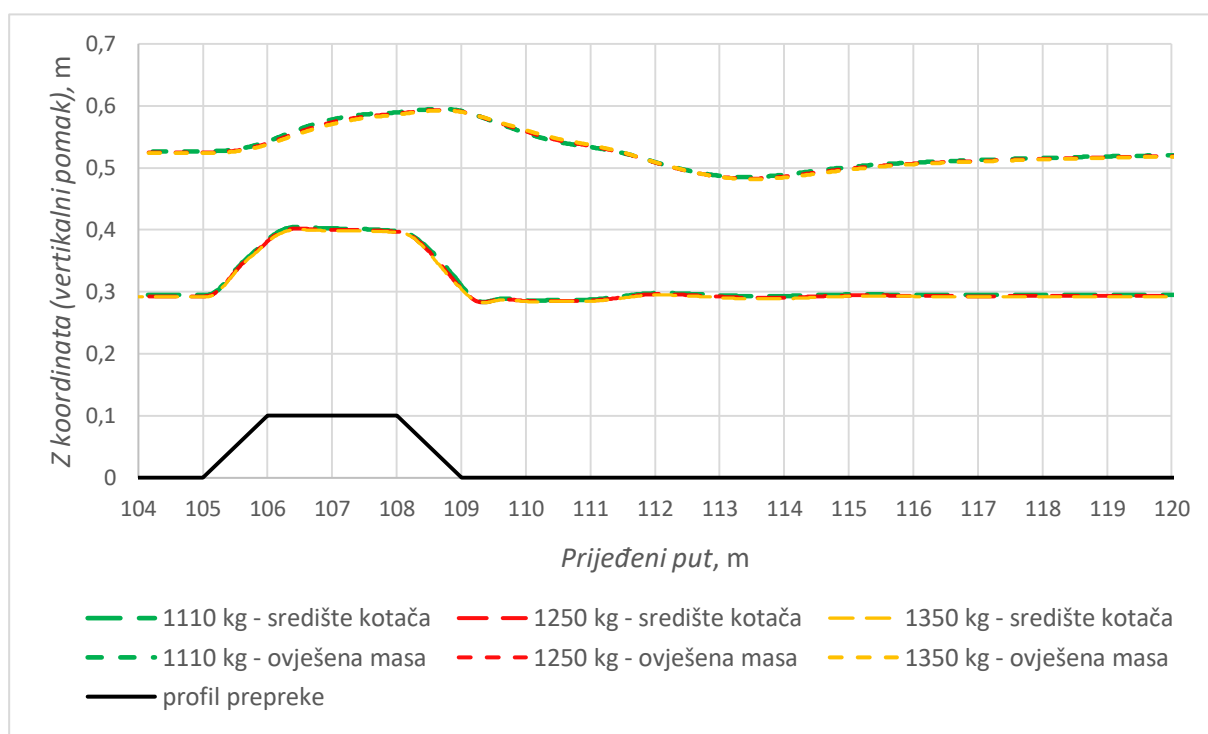
Slika 66. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu

Na dijagramu usporedbe vertikalnih pomaka središta kotača i težišta ovješene mase (slika 62.) izraženih preko koordinate Z, vidljivo je da dinamičke karakteristike prate profil pojedine prepreke trapeznog oblika. Karakteristike vertikalnih pomaka središta kotača, vertikalnih pomaka težišta ovješene mase, vertikalnog ubrzanja ovješene mase i kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila su slične (slike 63. - 65.), ali je vidljiv pomak u fazi koji se može pripisati različitoj širini prepreka. Prepreka Nova cesta 2 ima veću širinu i manji nagib i kod nje su vertikalni pomaci nešto veći, dok su amplitude akceleracija manje. Veće amplitude vertikalnih i kutnih ubrzanja ovješene mase kod prepreke Nova cesta 1 se mogu objasniti veći nagibom prepreke, što dovodi do smanjenja udobnosti vožnje prilikom prelaska vozila. Kako su obje prepreke postavljene na istoj cesti u istoj zoni ograničenja brzine vožnje te iste visine, zaključuje se da je prepreka Nova cesta 2 bolji izbor, jer iako ima veći vertikalni pomak središta kotača i težišta ovješene mase, on je gotovo neprimjetan, dok je akceleracija ovješene mase dosta manja i samim time osigurava bolju udobnost prelaska vozila, a daje iste rezultate u cilju smanjenja brzine vožnje, upozoravanja vozača i povećanja sigurnosti.

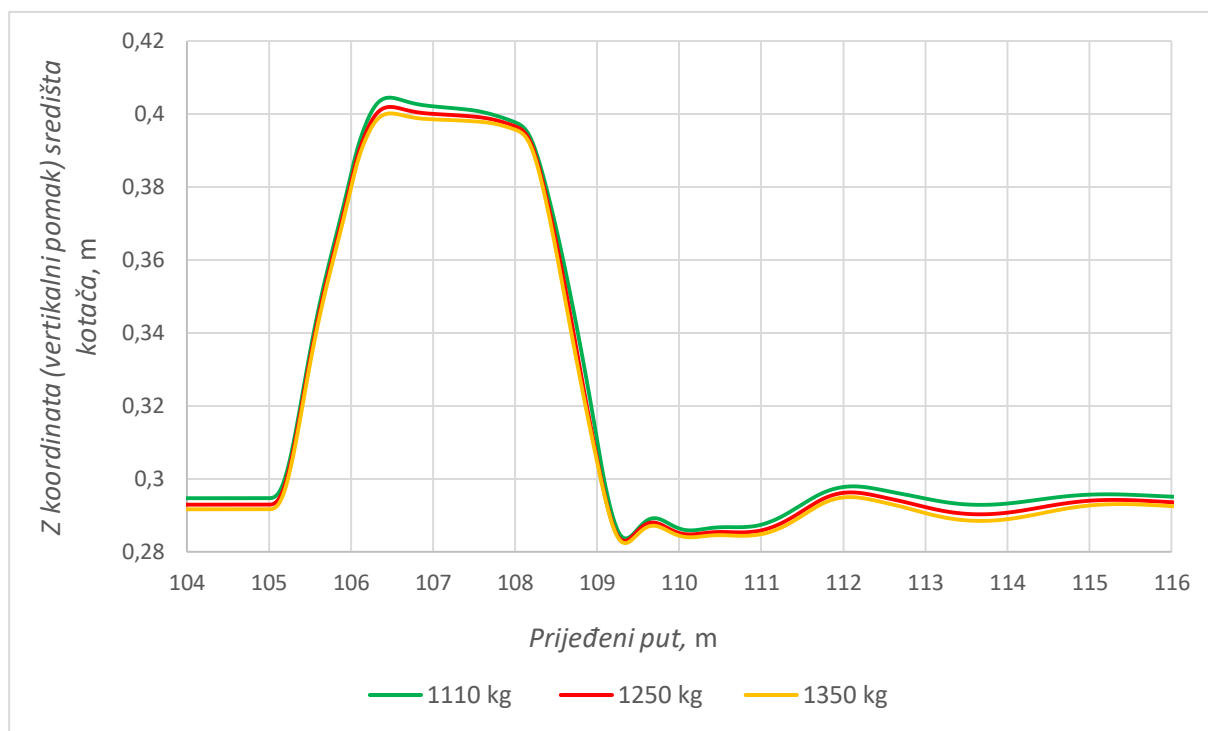


## 5.6. Promjena iznosa ovještene mase vozila

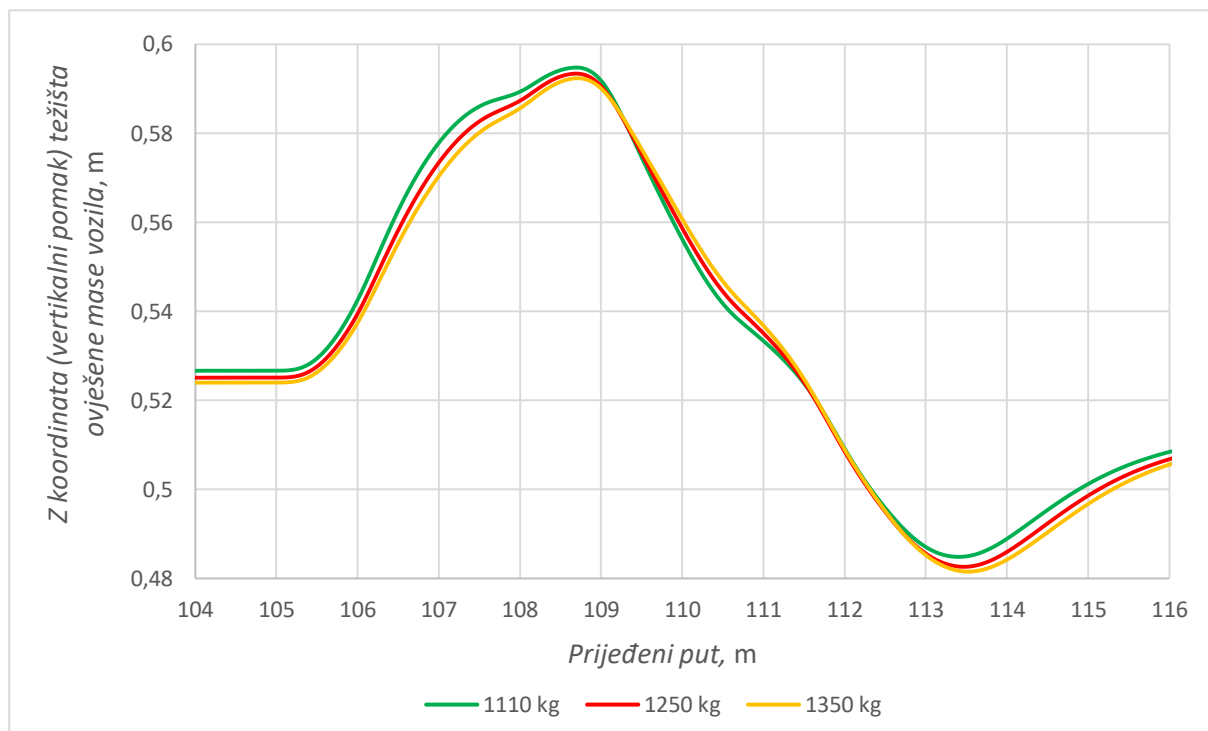
Izrađena je simulacija prelaska vozila preko prepreke Nova cesta 2, koja je trapeznog oblika, brzinom 40 km/h. Pritom je na odabranom modelu vozila promijenjen parametar ovještene mase dodavanjem 140 kg i 240 kg. Uspoređuju se zadani model vozila sa 1110 kg ovještene mase i novi modeli vozila sa 1250 kg i 1350 kg ovještene mase.



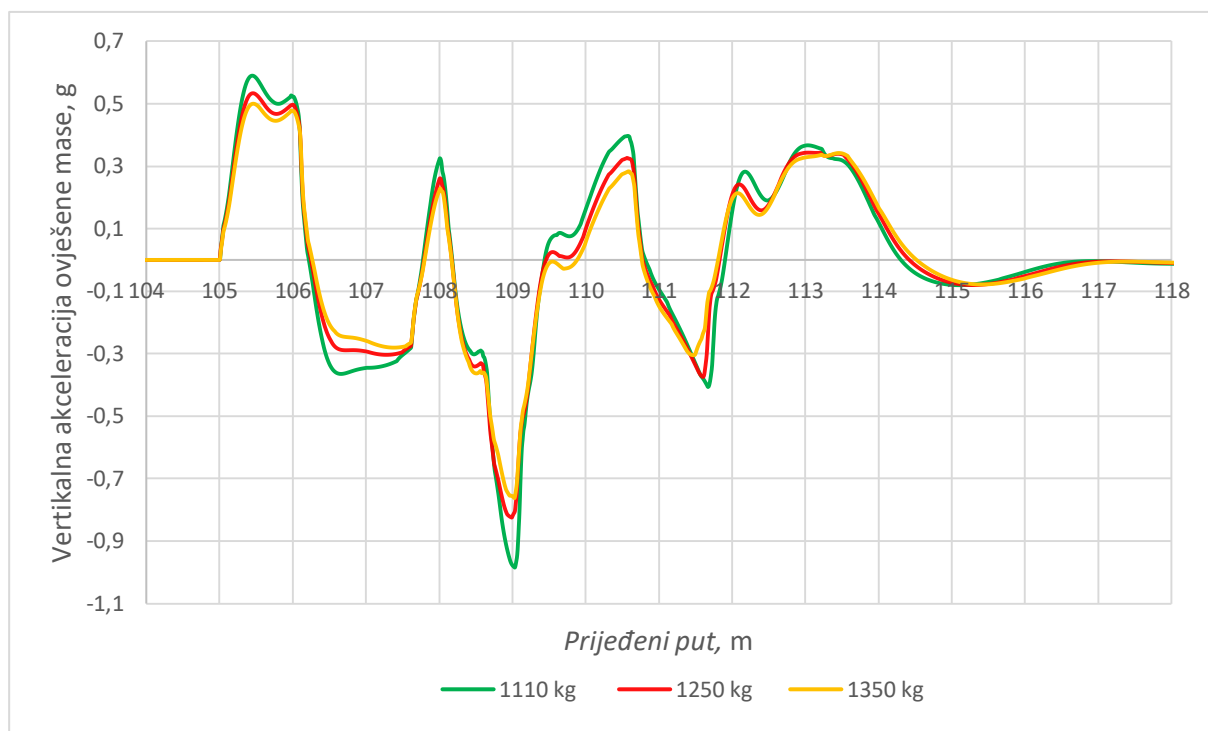
Slika 67. Dijagram ovisnosti visine profila, Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača i težišta ovještene mase o prijađenom putu



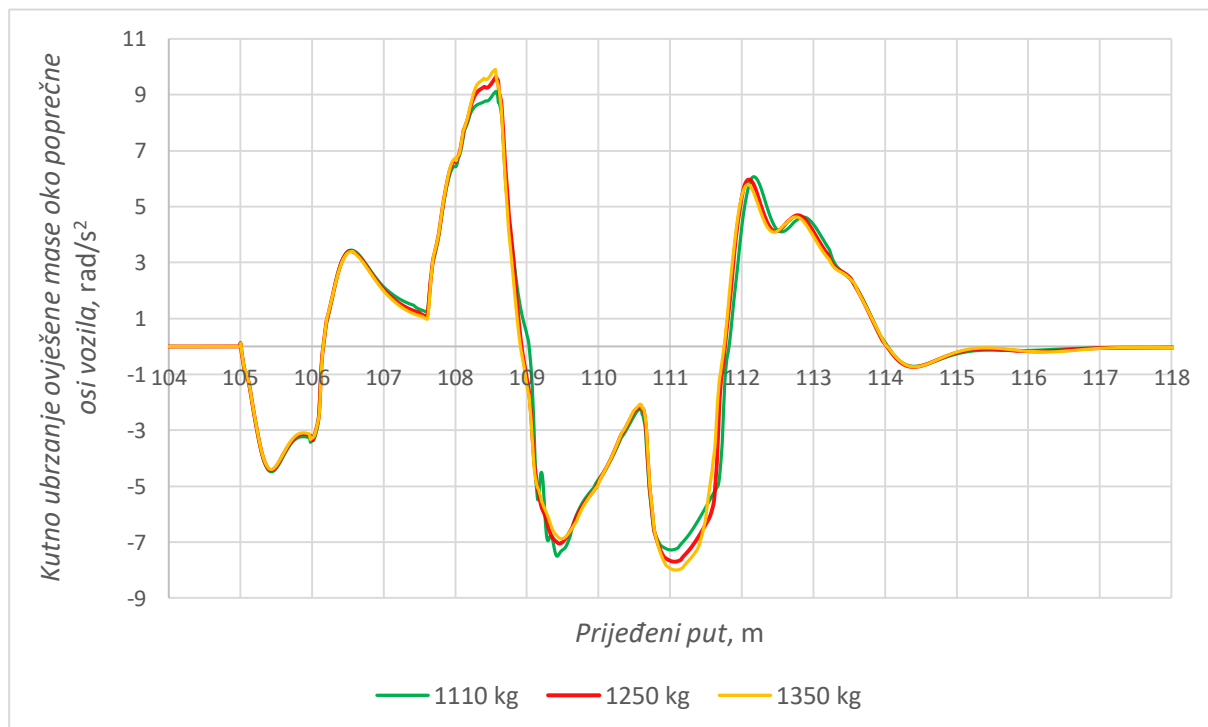
**Slika 68.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijednom putu



**Slika 69.** Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijednom putu



**Slika 70.** Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovješene mase o prijeđenom putu



**Slika 71.** Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu

Vidljivo je (slika 67.) da se karakteristike vertikalnog pomaka središta kotača i vertikalnog pomaka težišta ovješene mase (izražene preko koordinate Z), zadanog i novih modela vozila s većom ovješenoj masom, gotovo podudaraju. Na uvećanom prikazu dijagrama vertikalnih pomaka, na slikama 68. i 69., uočavaju vrlo male razlike amplituda. Na dijagramima vertikalnih i kutnih akceleracija (slike 70. i 71.) su te razlike nešto veće. S povećanjem ovješene mase vozila raste i tromost vozila što dovodi do smanjenja odziva kod vertikalnog pomaka središta kotača, vertikalnog pomaka same ovješene mase i vertikalne akceleracije ovješene mase. Prilikom prelaska vozila preko prepreke dolazi do naginjanja i preraspodjele opterećenja na zadnju osovinu, pa se tako povećanjem ovješene mase u ovom slučaju dobiva i veći kut nagiba oko poprečne osi vozila, samim time i veća kutna akceleracija oko poprečne osi vozila.

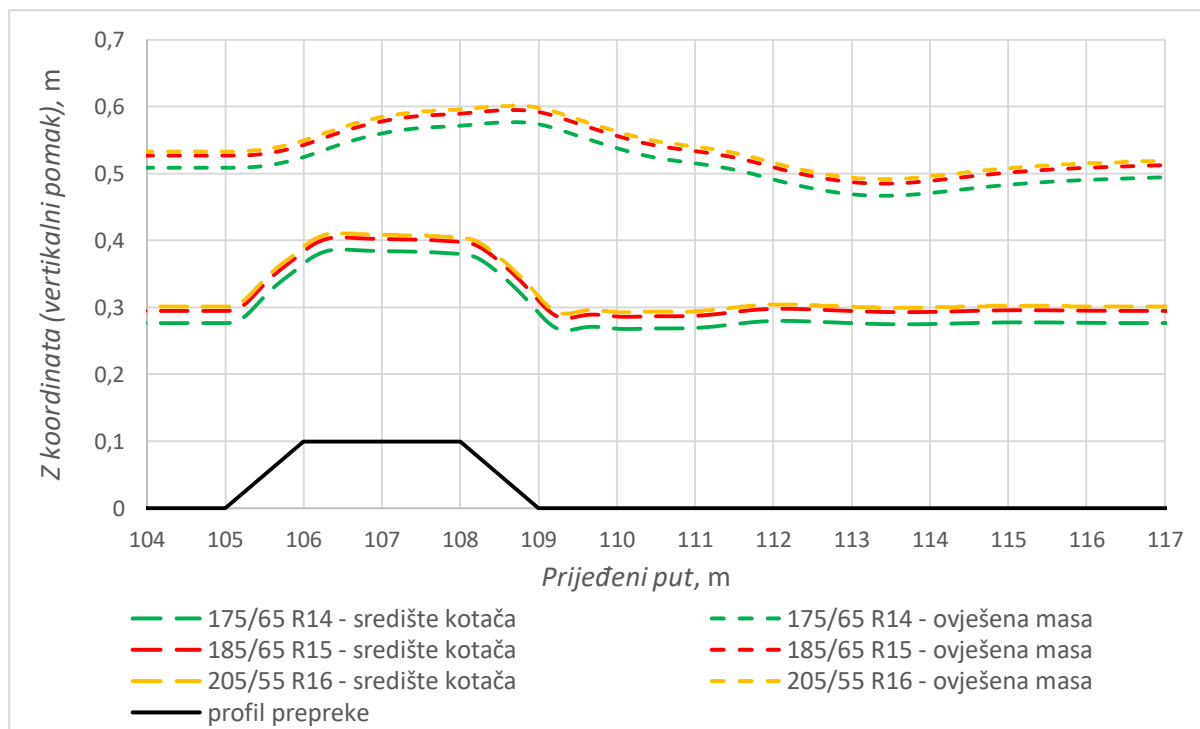
U tablici 4. su prikazane vršne vrijednosti vertikalnih pomaka središta kotača i težišta ovješene mase, te vertikalnog i kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila, te postotna razlika tih vrijednosti u odnos na vrijednosti dobivene u zadanom modelu, za pojedini mijenjani parametar.

**Tablica 4. Vršne vrijednosti dinamičkih karakteristika kod mijenjanja mase**

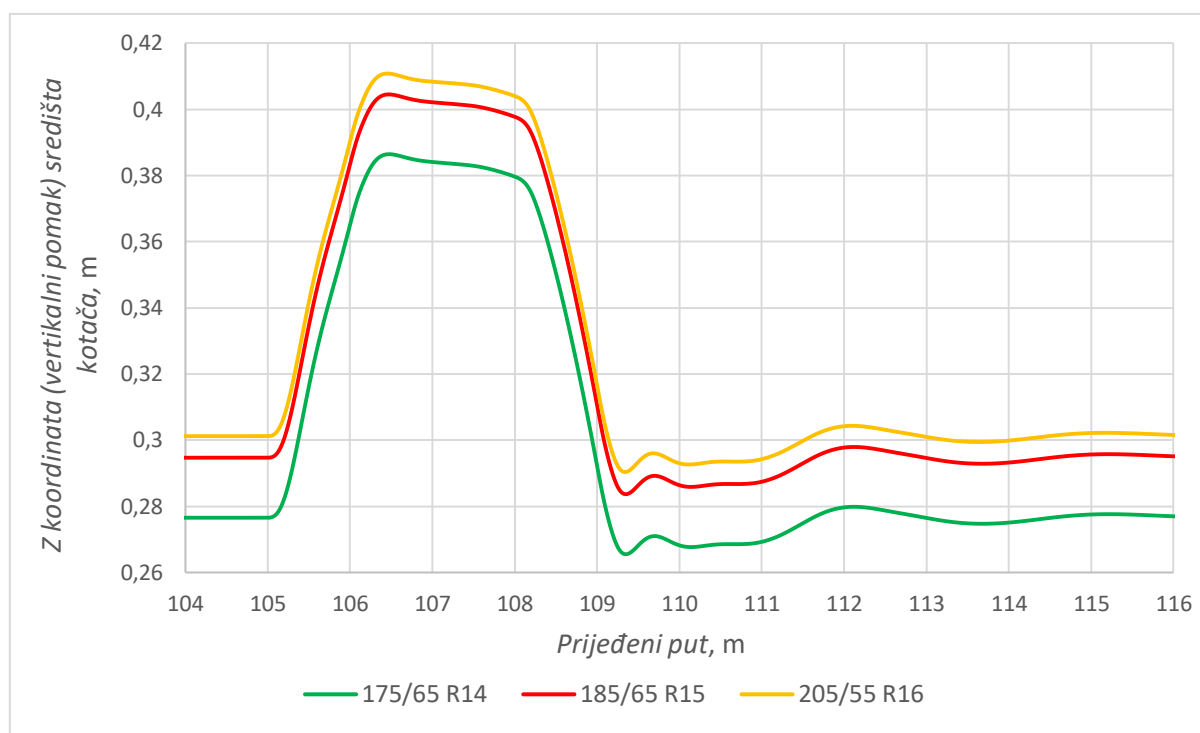
	1110 kg	1250 kg		1350 kg	
vertikalni pomak središta kotača [m]	0,1098	0,1091	-0,71 %	0,1086	-1,16 %
vertikalni pomak težišta ovješene mase [m]	0,0683	0,0681	-0,28 %	0,06803	-0,39 %
vertikalna akceleracija ovješene mase [g]	0,5897	0,5335	-9,54 %	0,4999	-15,23 %
kutna akceleracija ovješene mase [rad/s <sup>2</sup> ]	9,1208	9,6435	5,73 %	9,9014	8,56 %

### 5.7. Promjena dimenzija kotača vozila

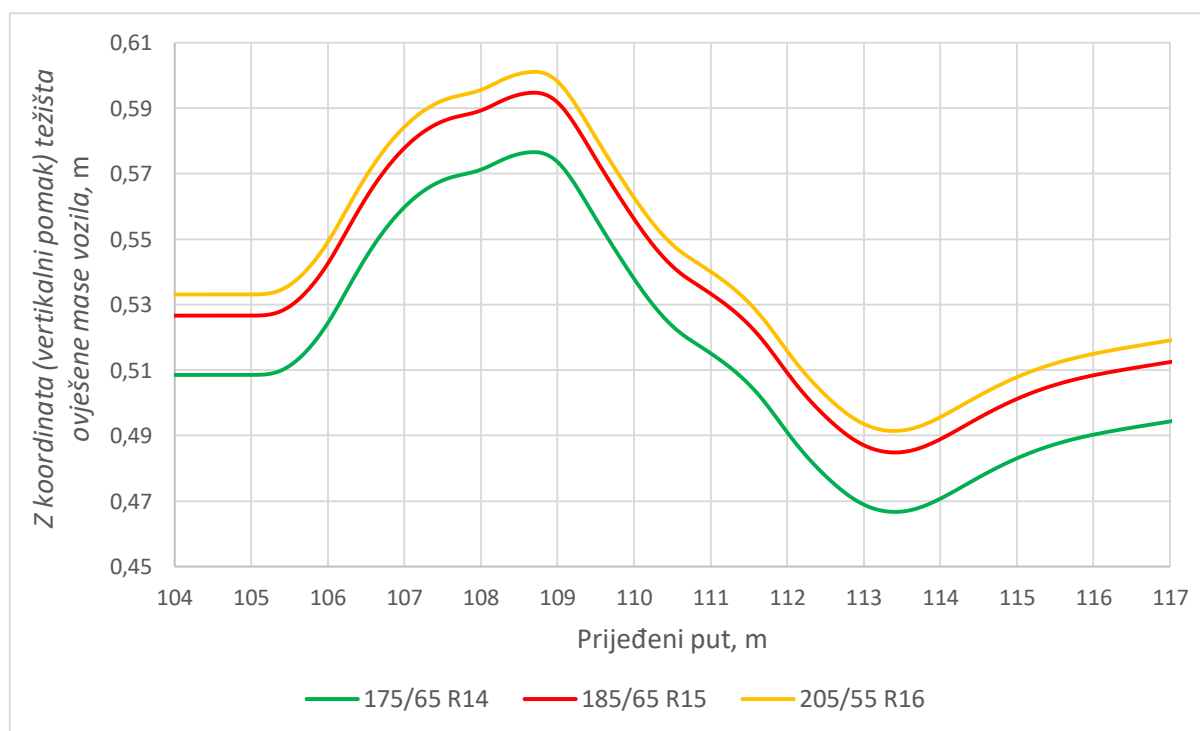
Simuliran je prelazak vozila preko prepreke Nova cesta 2 trapeznog oblika brzinom 40 km/h. Uspoređene su zadana dimenzija kotača 185/65 R15 s novodabranim dimenzijama 175/65 R14 i 205/55 R16.



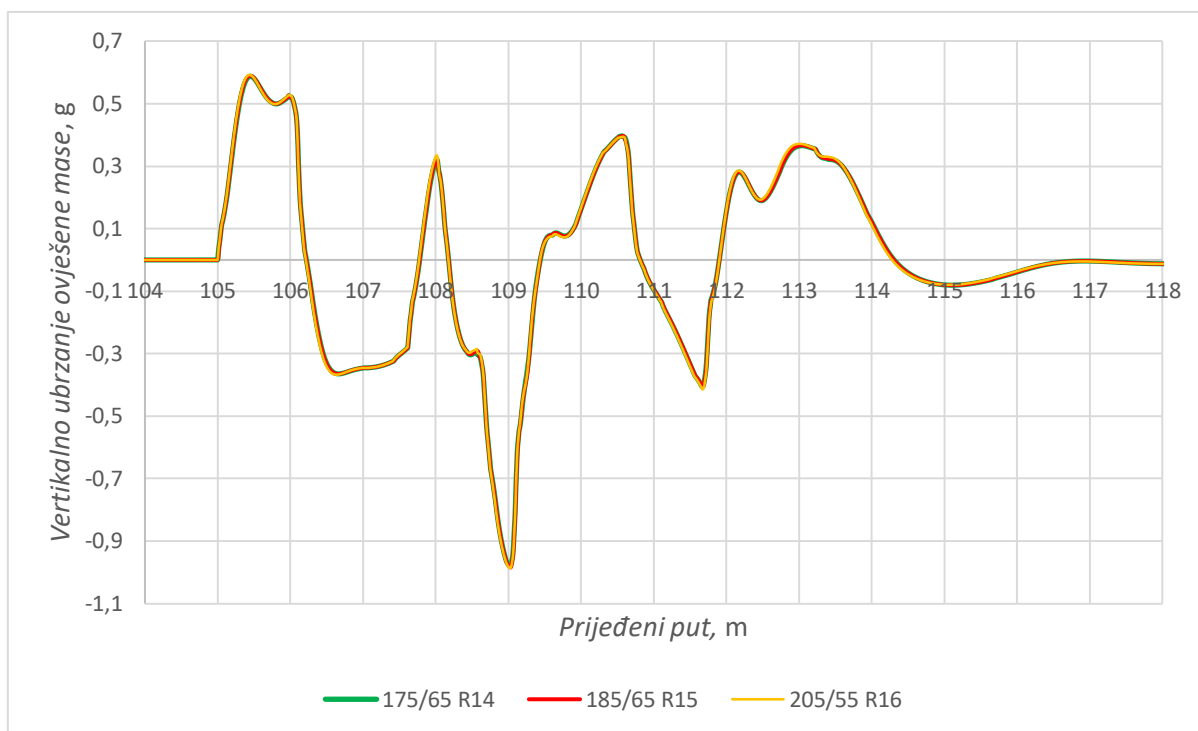
**Slika 72. Dijagram ovisnosti visine profila, vertikalnog pomaka središta kotača i vertikalnog pomaka ovješene mase o prijeđenom putu**



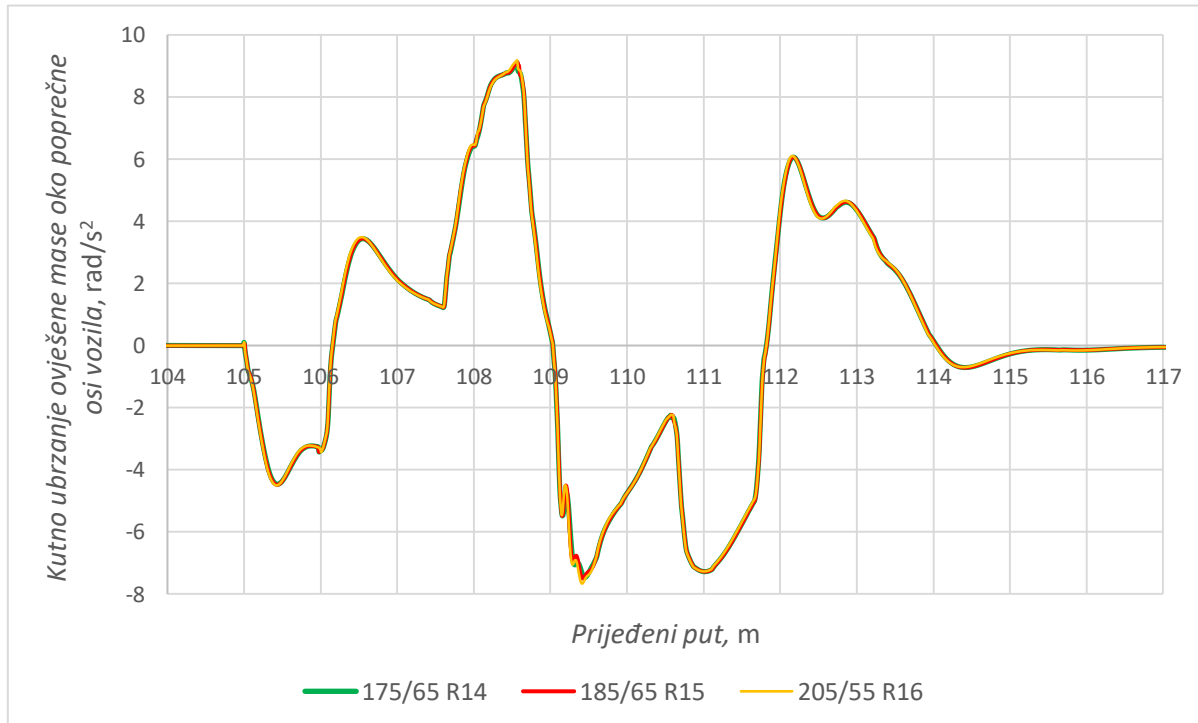
**Slika 73. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) središta kotača o prijednom putu**



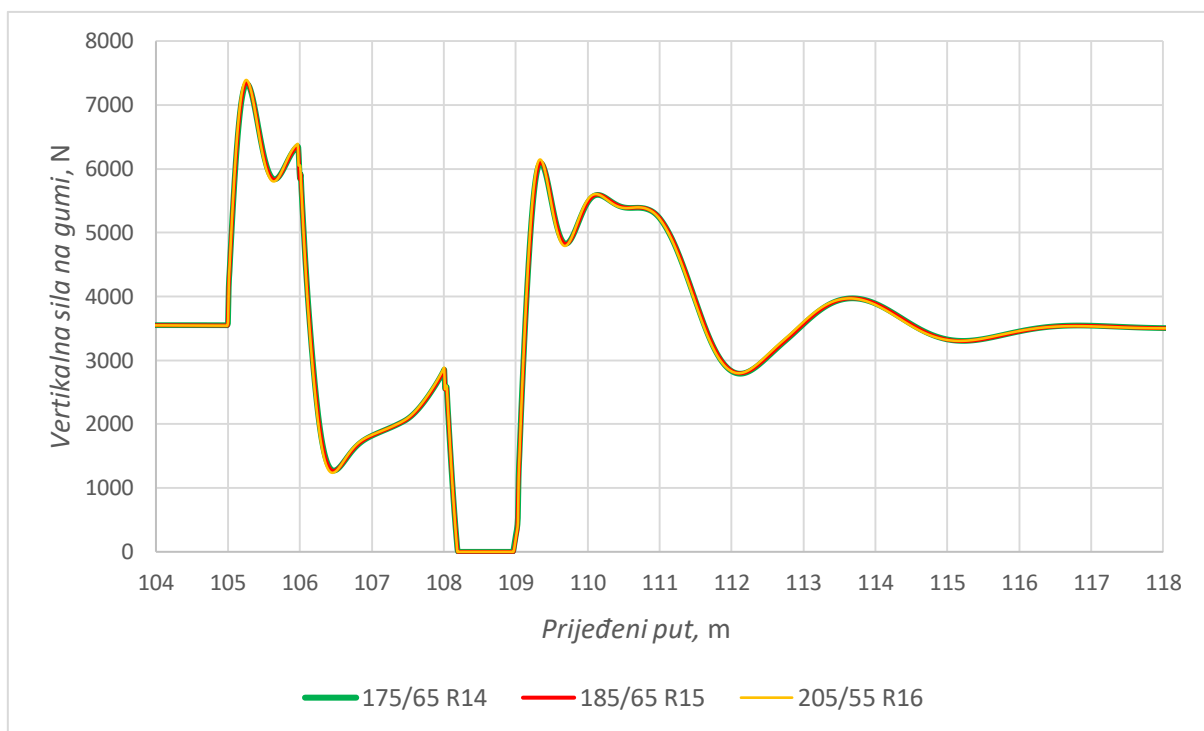
**Slika 74. Dijagram ovisnosti Z koordinate (vertikalnog pomaka) težišta ovještene mase o prijednom putu**



Slika 75. Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovješene mase o prijeđenom putu



Slika 76. Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu



**Slika 77. Dijagram ovisnosti vertikalne sile na gumi o prijeđenom putu**

Karakteristike vertikalnih pomaka središta kotača i ovješene mase, kao i karakteristike vertikalnih akceleracija i kutnih akceleracija ovješene mase oko poprečne osi vozila se podudaraju (slika 72.). Na uvećanim prikazima dijagrama vertikalnih pomaka središta kotača (slika 73.) i težišta ovješene mase (slika 74.) se uočava razlika koja se pripisuje razlici promjera kotača. Naime dijagrami su izraženi preko koordinate Z pa se odabirom kotača manjeg promjera snižava se i središte samog kotača kao i težište vozila u odnosu na podlogu, dok se s kotačem većeg promjera oni povisuju. Dijagram ovisnosti vertikalne sile na gumi o putu, prikazan na slici 77., također ne pokazuje značajnije razlike. Dakle, promjena dimenzije kotača, odnosno manja ili veća dimenzija kotača nemaju značajan utjecaj u ovom slučaju. No, treba uzeti u obzir i činjenicu da se sve odabrane dimenzije kotača standardno koriste na vozilima ove kategorije. U tablici 5. su prikazane vršne vrijednosti vertikalnih pomaka središta kotača i težišta ovješene mase, te vertikalnog i kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila, te postotna razlika tih vrijednosti u odnosu na vrijednosti dobivene u zadanom modelu, za pojedini mijenjani parametar.

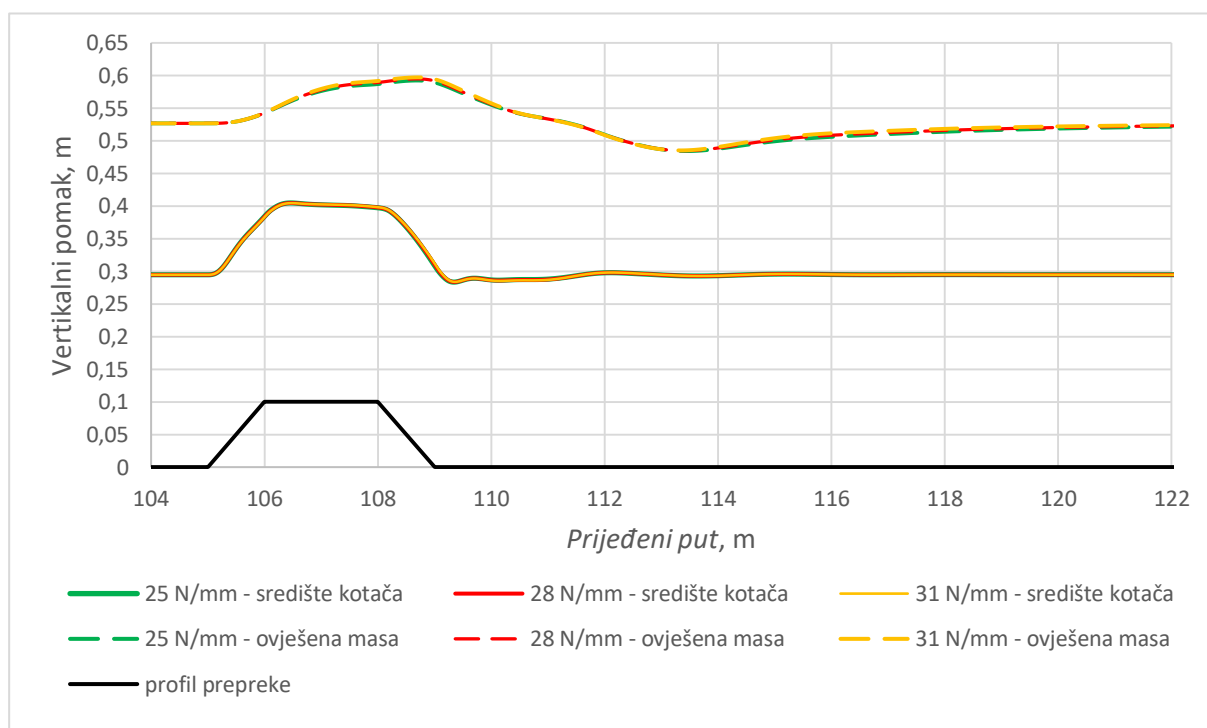


Tablica 5. Vršne vrijednosti dinamičkih karakteristika kod mijenjanja dimenzija kotača

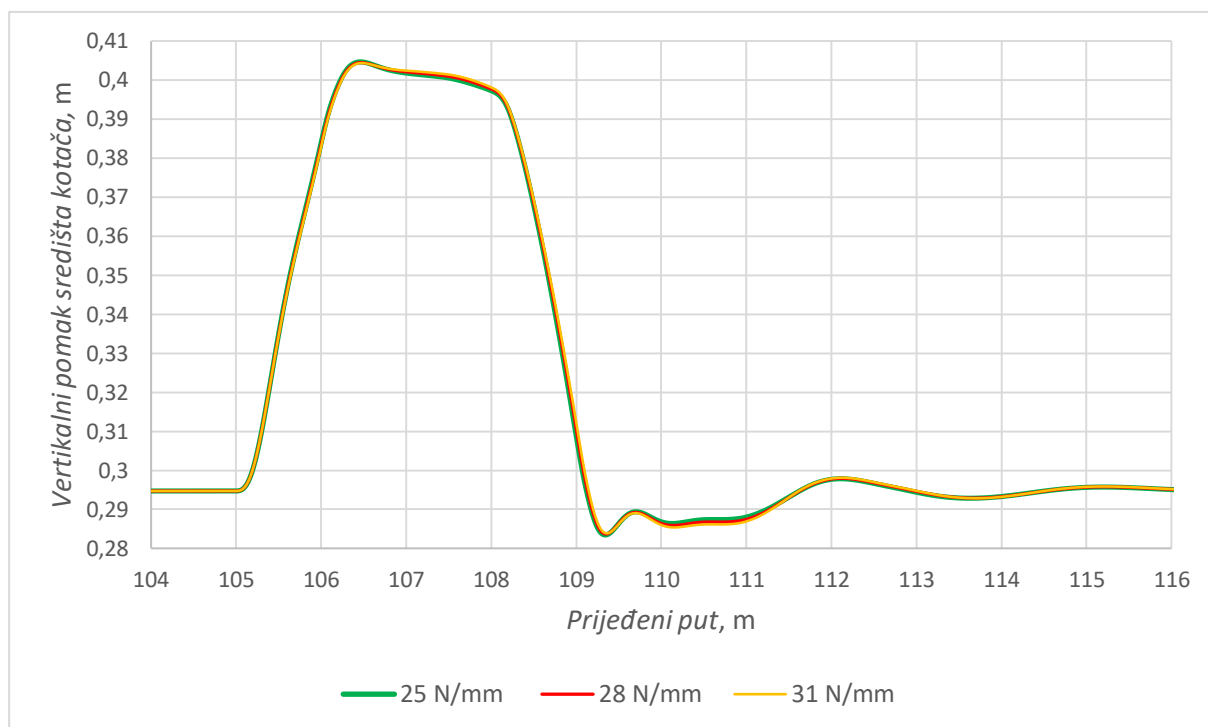
	175/65 R14		185/65 R15	205/55 R16	
vertikalni pomak središta kotača [m]	0,1099	0,06 %	0,1098	0,1096	-0,20 %
vertikalni pomak težišta ovještene mase [m]	0,0681	-0,03 %	0,0681	0,0680	-0,12 %
vertikalna akceleracija ovještene mase [g]	0,5874	-0,40 %	0,5897	0,5921	0,41 %
kutna akceleracija ovještene mase [rad/s <sup>2</sup> ]	9,0896	-0,34 %	9,1208	9,1830	0,68 %

### 5.8. Promjena iznosa krutosti opruga ovjesa

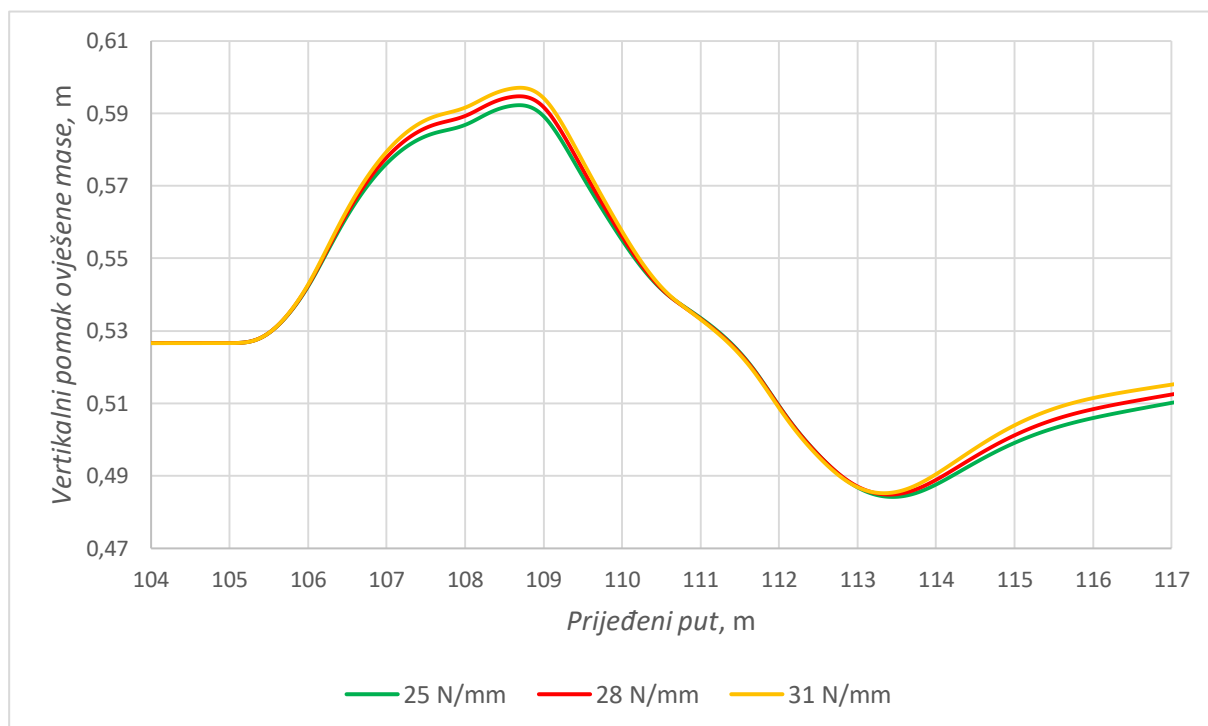
Izrađene su simulacije prelaska vozila preko prepreke Nova cesta 2 trapeznog oblika brzinom 40 km/h. Uspoređene su tri krutosti opruga: zadana 28 N/mm, manja 25 N/mm i veća 31 N/mm.



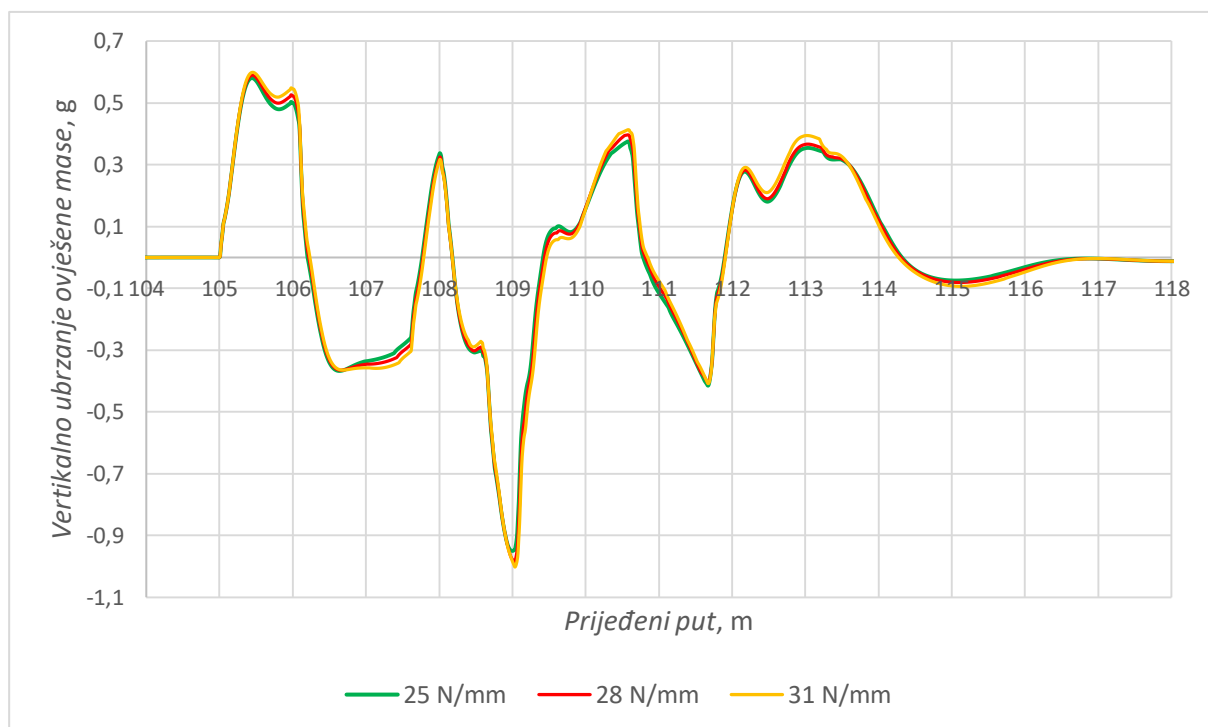
Slika 78. Dijagram ovisnosti visine profila, vertikalnog pomaka središta kotača i vertikalnog pomaka ovještene mase o prijeđenom putu



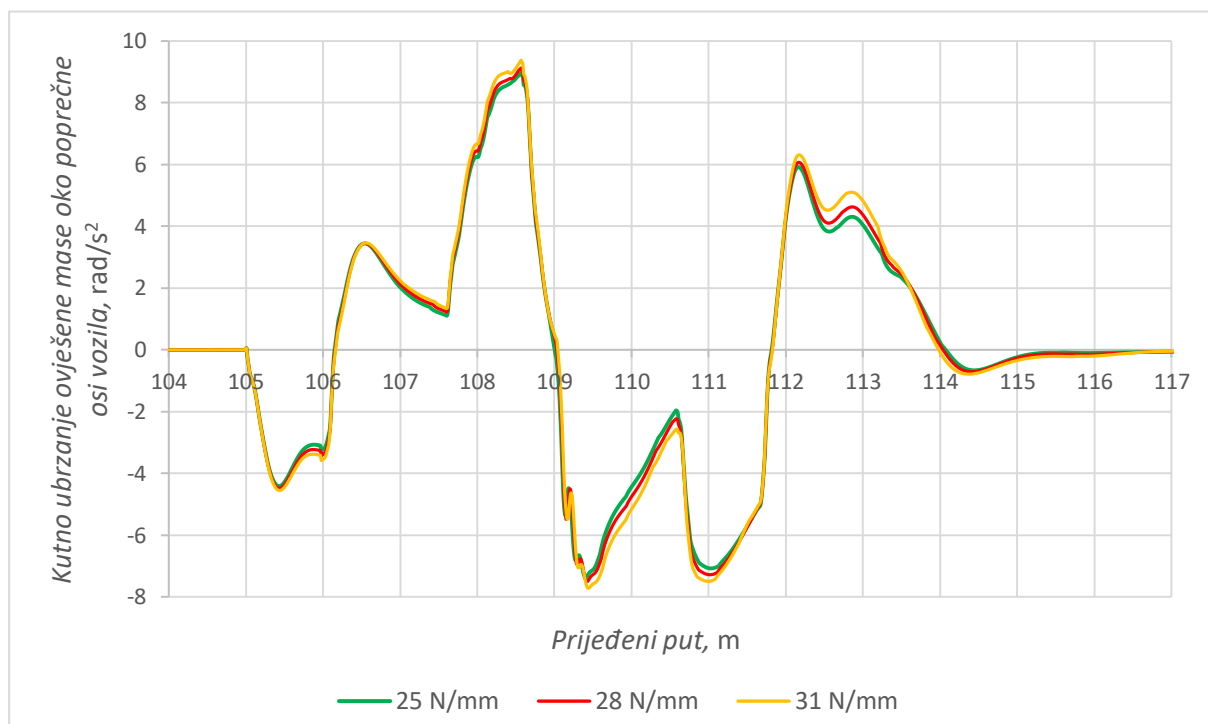
Slika 79. Dijagram ovisnosti vertikalnog pomaka središta kotača o prijeđenom putu



Slika 80. Dijagram ovisnosti vertikalnog pomaka ovješene mase o prijeđenom putu



**Slika 81.** Dijagram ovisnosti vertikalnog ubrzanja ovještene mase o prijeđenom putu



**Slika 82.** Dijagram ovisnosti kutnog ubrzanja ovještene mase oko poprečne osi vozila o prijeđenom putu

Karakteristike vertikalnih pomaka se podudaraju uz manja odstupanja, vertikalni pomak središta kotača se povećava smanjenjem krutosti opruge (slika 79.), dok se vertikalni pomak ovješene mase smanjuje (slika 80.). Korištenje „mekše“ opruge, odnosno opruge manje krutosti, dovodi do smanjenja amplituda vertikalne akceleracije ovješene mase vozila (slika 81.), kao i kutne akceleracije ovješene mase oko poprečne osi vozila (slika 82.), što za posljedicu ima povećanje udobnosti vožnje prilikom prelaska preko prepreke.

U tablici 6. su prikazane vršne vrijednosti vertikalnih pomaka središta kotača i težišta ovješene mase, te vertikalnog i kutnog ubrzanja ovješene mase oko poprečne osi vozila, te postotna razlika tih vrijednosti u odnosu na vrijednosti dobivene u zadanom modelu, za pojedini mijenjani parametar.

**Tablica 6. Vršne vrijednosti dinamičkih karakteristika kod mijenjanja krutosti opruge**

	25 N/mm		28 N/mm	31 N/mm	
vertikalni pomak središta kotača [m]	0,1100	0,16 %	0,1098	0,1097	-0,11 %
vertikalni pomak težišta ovješene mase [m]	0,0656	-3,60 %	0,0681	0,0704	3,48 %
vertikalna akceleracija ovješene mase [g]	0,5805	-1,57 %	0,5897	0,5992	1,60 %
kutna akceleracija ovješene mase [rad/s <sup>2</sup> ]	8,9633	-1,73 %	9,1208	9,3745	2,78 %

## 5.9. Pojava odvajanja kotača od podloge

Tijekom simuliranja prelaska vozila preko različitih oblika prepreka različitim brzinama vožnje na dijagramima vertikalne sile na gumu, odnosno u središtu kotača, uočeno je da dolazi do pada sile na nultu vrijednost. To ukazuje da dolazi do pojave odvajanja kotača od podloge koja se događa uslijed penjanja vozila na prepreku kada dolazi do naginjanja vozila oko poprečne osi i preraspodjele težine na zadnju osovinu. Pri većim brzinama može doći do „preskakanja“ prepreke, odnosno u nekom trenutku kotači nisu u dodiru s podlogom. Ta pojava uvelike utječe na upravljivost samog vozila jer, da bi se vozilom moglo sigurno upravljati, kotači moraju u svakom trenutku biti u dodiru s podlogom. Ovdje je pokazano da to nije slučaj, što dovodi u pitanje i samu sigurnost prelaska vozila preko prepreka, a koje ujedno služe za smirivanje prometa i osiguravanje sigurnog prometovanja svih sudionika prometa. U tablici 7. su prikazane brzine vožnje za pojedine prepreke nakon kojih već dolazi do pojave odvajanja kotača od podloge. Te brzine su dosta niže od brzina predviđenih za prelazak preko prepreka, odnosno brzina vožnje u zonama gdje su postavljene. Također, i ovo dovodi u pitanje odabir dimenzija

prepreka kao i mjesta na koja se postavljaju, s obzirom na brzine koje su predviđene za prelazak istih.

**Tablica 7. Najveće brzine vožnje za pojedine prepreke kod kojih ne dolazi do odvajanja kotača od podloge**

<b>Umjetne izbočine</b>	
ZONA 30	15 km/h
ZONA 40	15 km/h
ZONA 50	15 km/h
Dobojska ulica	10 km/h
<b>Uzdignute plohe</b>	
Nova cesta 1	21 km/h
Nova cesta 2	31 km/h

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom su radu provedene računalne simulacije i analiziran je utjecaj osnovnih parametara vozila i brzine vožnje na ponašanje vozila prilikom prelaska preko različitih oblika prepreka za smirivanje prometa. Simulacije su provedene u programskom paketu CarSim, a pritom su analizirane različite usporedbe prepreka.

Kod usporedbi umjetnih izbočina različitih dimenzija po brzinama vožnje, umjetne izbočine veće visine daju veće vertikalne pomake pri nižim brzinama vožnje, a prepreke većeg nagiba smanjuju udobnost. Sve dimenzije izbočina, osim Dobojska ulica, odabrane su prema intervalu dimenzija zadanih Pravilnikom [2]. Razlike u dinamičkim karakteristikama izlaznih rezultata mogu se pripisati odabranim dimenzijama i pokazuju da Pravilnik nije strogo definiran.

Pri prelasku vozila preko umjetnih izbočina brzinom namjenjenoj za te prepreke utvrđeno je da dimenzije prepreka nisu prilagođene zadanoj brzini prelaska i dolazi do smanjenja udobnosti i do pojave odvajanja kotača od podloge što utječe na upravljivost vozila i sigurnost vožnje.

Kod usporedbe trapeznog i konveksnog oblika istih dimenzija bolja je udobnost prelaska preko prepreke konveksnog oblika, uzdužne sile su manje, bolja je upravljivost i veća sigurnost.

Kod uzdignutih ploha različitih širina, a istih visina, uzdignuta ploha veće širine bolji je izbor. Veća širina prepreke i manji kut nagiba osiguravaju veću udobnost, a daju iste rezultate u cilju smanjenja brzine vožnje vozila.

Pri mijenjanju parametara vozila povećanje mase ima najveći utjecaj dok mijenjanje dimenzija kotača nije značajno utjecalo na izlazne rezultate što se može pripisati i odabiru kotača koji se standardno koriste na vozilima izabrane klase. Kod mijenjanja parametra krutosti opruga ovjesa, opruge manje krutosti povećavaju udobnost vožnje preko prepreke.

Kod svih prepreka je uočena pojava odvajanja kotača od podloge na određenim brzinama kretanja vozila što smanjuje upravljivost vozila, sigurnost vožnje i nepoželjna je pojava. Niti prepreke čije su dimenzije odabrane iz Pravilnika [2] niti prepreke čiji se su dimenzije izmjerene na cestama grada Zagreba ne ispunjavaju u potpunosti sve kriterije za siguran i udoban prelazak vozilom preko njih. Iako upozoravaju vozača na smanjenje brzine vožnje, što i je glavni cilj njihovog postavljanja, nisu prilagođene vozilima prema udobnosti prelaska, prevelikih su i neprilagođenih dimenzija, često su izrazito dotrajale i oštećene, a sve to utječe na upravljivost i sigurnost vozila koje prelazi preko istih. Zbog toga bi trebalo više pažnje posvetiti odabiru boljih dimenzija prepreka za određenu brzinu, postavljanju i održavanju istih, te raditi na izmjeni i jasno definirati Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.

---

**LITERATURA**

- [1] <https://www.oryx-asistencija.hr/savjeti-za-vozace/sve-o-lezecim-policajcima-6562>
- [2] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama, (NN 33/2005.)
- [3] Zakon o javnim cestama (NN 180/04)
- [4] Z. Lulić, K. Ormuž, G. Šagi: Motorna vozila (predavanja), FSB, Zagreb
- [5] C. Woernle: Fahrmechanik, Universität Rostock, 2005.
- [6] P. Knor: Dinamika motornih vozila -skripta, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo 2005.
- [7] Heissing, Ersoy, Chassis Handbook – Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics-Perspectives, ATZ, 2011

---

**PRILOZI**

I. CD-R disc