

# Utjecaj uspornika prometa na dinamiku kretanja vozila

---

Krpan, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:297998>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**DIPLOMSKI RAD**

**UTJECAJ USPORNIKA PROMETA NA DINAMIKU  
KRETANJA VOZILA**

**THE INFLUENCE OF TRAFFIC CALMING EQUIPMENT ON  
THE DYNAMICS OF VEHICLE MOVEMENT**

**Mentor:**

izv. prof. dr. sc. Željko Šarić

**Student:**

Ivan Krpan  
JMBAG: 0135251640

Zagreb, rujan 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH**  
**ZNANOSTI POVJERENSTVO ZA**  
**DIPLOMSKI ISPIT**

Zagreb, 5. travnja 2023.

Zavod: Zavod za prometno-tehnička vještačenja  
Predmet: Prometno tehničke ekspertize i sigurnost

**DIPLOMSKI ZADATAK br.**  
**7201**

Pristupnik: Ivan Krpan (0135251640)  
Studij: Promet  
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: Utjecaj opreme za smirivanje prometa na dinamiku kretanja vozila

Opis zadatka:

U Diplomskom radu potrebno je istražiti utjecaj opreme za smirivanje prometa na dinamiku kretanja vozila. Prilikom istraživanja potrebno je objasniti zakonsku regulativu i vrste opreme za smirivanje prometa na cesti. Analizirati broje prometnih nesreća prije i nakon postavljanja opreme za smirivanje prometa na relevantnom broju lokacija te utvrditi utjecaj opreme za smirivanje prometa na dinamiku kretanja vozila pri različitim brzinama. Temeljem provedenog istraživanja predložiti mjere za ciljano i učinkovito smirivanje prometa upotrebom navedene opreme.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva  
diplomskog ispita:

-----  
izv. prof. dr. sc. Željko Šarić

## **SAŽETAK**

Sile koje pruža prometna oprema prema vozila mogu utjecati pozitivno ili negativno na dinamiku kretanja vozila. O tome kakav će utjecaj imati strategija postavljanja prometne opreme za smirivanje prometa na sigurnost sudionika prometa i odvijanje prometnih procesa ovisi o vrsti prometne opreme i opravdanosti umještanja u prometnu mrežu. U Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama uspornici prometa odnosno umjetne izbočine segregirane su u kategorije ovisno o ograničenju brzine koje oprema predstavlja svojim dimenzijama. Korektan odabir projektno-oblikovnih elemenata umjetne izbočine na pojedinoj lokaciji povećava kontrolu prometnog toka i smanjuje rizik od nastajanja prometne nesreće.

**KLJUČNE RIJEČI:** USPORNIK PROMETA, PROMETNA NESREĆA, SMIRIVANJE PROMETA, UTJECAJ STRATEGIJE

## **SUMMARY**

The forces provided by the traffic equipment towards the vehicle can positively or negatively affect the dynamics of the vehicle's movement. The impact of the strategy of placing traffic calming equipment on the safety of traffic participants and the development of traffic processes depends on the type of traffic equipment and the justification for placing it in the traffic network. In the Ordinance on traffic signs, signaling and equipment on roads, traffic barriers, i.e. artificial protrusions, are segregated into categories depending on the speed limit represented by the equipment's dimensions. The correct selection of the design and shape elements of the artificial protrusion at a particular location increases traffic flow control and reduces the risk of a traffic accident.

**KEY WORDS:** TRAFFIC OBSTACLES, TRAFFIC ACCIDENT, TRAFFIC CALMING, INFLUENCE OF STRATEGY

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	5
<b>2. DINAMIKA KRETANJA VOZILA</b> .....	8
2.1. Utjecaj sila na stabilnost vozila u kretanju.....	10
2.1.1. <i>Stabilnost pri ubrzavanju vozila</i> .....	11
2.1.2. <i>Stabilnost pri usporavanju vozila</i> .....	15
2.1.3. <i>Stabilnost skupa vozila</i> .....	18
2.2. Kretanje vozila po površinama s različitim koeficijentima trenja.....	21
<b>3. OPREMA ZA SMIRIVANJE PROMETA NA CESTAMA</b> .....	27
<b>4. ANALIZA BROJA PROMETNIH NESREĆA NAKON POSTAVLJANJA OPREME ZA SMIRIVANJE PROMETA</b> .....	34
4.1. Analiza sigurnosti prije postavljanja uspornika.....	36
4.2. Analiza sigurnosti nakon postavljanja uspornika.....	41
<b>5. UTJECAJ OPREME ZA SMIRIVANJE PROMETA NA DINAMIKU KRETANJA VOZILA PRI RAZLIČITIM BRZINAMA</b> .....	46
5.1. Utjecaj uspornika prometa na vozilo pri brzini od 30 km/h.....	48
5.2. Utjecaj uspornika prometa na vozilo pri brzini od 40 km/h.....	52
5.3. Utjecaj uspornika prometa na vozilo pri brzini od 50 km/h.....	55
<b>6. MJERE I PREPORUKE ZA UČINKOVITO POSTAVLJANJE OPREME ZA SMIRIVANJE PROMETA</b> .....	58
6.1. Učinkovitost postojećeg stanja.....	58
6.2. Inovativna rješenja.....	59
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	61
<b>LITERATURA:</b> .....	63

## 1. UVOD

Važan aspekt sigurnosti prometa je očuvanje odnosno podizanje iste na prihvatljivu razinu. Jedan od elemenata strategije smirivanja prometa, kojom se zadovoljava stanje prihvatljivog rizika, su umjetne izbočine ili uspornici prometa. Umjetne izbočine direktno utječu na vozilo te se sigurnost povećava direktnim uvjetovanjem dinamike kretanja tog vozila. Posljedično silama koje pružaju umjetne izbočine vozilu koje se kreće prometnicom ovisi sigurnost svih sudionika u prometu.

Sile koje pruža prometna oprema prema vozila mogu utjecati pozitivno ili negativno na dinamiku kretanja vozila. O tome kakav će utjecaj imati strategija postavljanja prometne opreme za smirivanje prometa na sigurnost sudionika prometa i odvijanje prometnih procesa ovisi o vrsti prometne opreme i opravdanosti umještanja u prometnu mrežu. U Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama uspornici prometa odnosno umjetne izbočine segregirane su u kategorije ovisno o ograničenju brzine koje oprema predstavlja svojim dimenzijama. Ostala oprema za smirivanje prometa može biti u obliku optičkih bijelih crta za usmjerenje prometa, trake za zvučno upozoravanje, vibracijske trake, stupići za umjeravanje prolaza vozila i preventivni radarski brojači s pokazivačem brzine kretanja vozila. Osnovne umjetne izbočine razlikujemo u visini od tri, pet i sedam centimetara te širinama za pripadajuće visine od 60, 90 i 120 centimetara. Posebnu kategoriju čine građevinski izvedene površine, uzdignute plohe.

Korektan odabir projektno-oblikovnih elemenata umjetne izbočine na pojedinoj lokaciji povećava kontrolu prometnog toka i smanjuje rizik od nastajanja prometne nesreće. Lokacija na kojoj je postavljena umjetna izbočina procijenjena je kao mjesto u prometnoj mreži kojem je narušena, smanjena sigurnost odvijanja prometnih procesa. Prometne nesreće mogu biti kvalitativan i kvantitativan pokazatelj sigurnosti dijela prometne mreže. Prometna oprema za smirivanje prometa ima zadaću smanjenje broja prometnih nesreće smanjenjem brzine kretanja prometnih entiteta.

Prometne nesreće na području prometne mreže ponekad su rezultat neadekvatnom udovoljavanju zahtjeva. Prometni tok vozila dinamična je varijabla u vremenu koju infrastruktura mora pratiti. Ukoliko se infrastruktura ne prilagođava procesima odvijanja prometa nastaju točke u prometnoj mreži za koje je potrebno postaviti valjanu prometnu dijagnozu koja implicira prometnu terapiju. Prometna terapija za problematična mjesta u

urbanoj prometnoj mreži najčešće je oprema za smirivanje prometa kao jedna od učinkovitijih. Cilj prometne opreme za smirivanje prometa je prilagođavanje brzine kretanja vozila u skladu s uvjetima okoline u kojoj se ono nalazi. Umjetne izbočine visine tri centimetara ograničavaju brzinu na 50 km/h, visine pet centimetara na 40 km/h i sedam centimetara na 30 km/h. iznimka su uzdignute plohe visine 7,5 centimetara.

Cilj rada je doprinos učinkovitijem korištenju prometne opreme u za to namijenjenu svrhu. Analizom utjecaja prometne opreme na vozilo sukladno karakteristikama od kojih se oprema sastoji, postizanje punog potencijala prilikom korištenja strategije smirivanja prometa u punome smislu. U svrhu kvalitetnog razlaganja materije, sam rad odijeljen u sedam cjelina kako slijede:

- Uvod,
- Dinamika kretanja vozila,
- Oprema za smirivanje prometa na cesti,
- Analiza broja prometnih nesreća nakon postavljanja opreme za smirivanje prometa,
- Utjecaj opreme za smirivanje prometa na dinamiku kretanja vozila pri različitim brzinama,
- Mjere i preporuke za učinkovito postavljanje opreme za smirivanje prometa,
- Zaključak.

U drugom poglavlju govori se o silama koje utječu na dinamiku kretanja vozila, koji su sve parametri na koje je važno obratiti pozornost prilikom kretanja vozila. Sile koje djeluju na vozilo mogu biti pozitivne i negativne s obzirom na održavanje željene putanje kretanja.

U trećem poglavlju riječ je prometnoj opremi uspornika prometa koji služe kao invazivna strategija smirivanja prometa. Nekoliko je vrsta uspornika prometa ovisno o namjeni. Prometna oprema uspornika prometa razlikuje se po obliku, materijalu izrade odnosno potencijalnoj lokaciji umještanja u prometnu mrežu.

Četvrto poglavlje bavi se analizom sigurnosti prometa kroz događaje prometnih nesreća koje su se dogodile prije i poslije postavljanja prometne opreme uspornika prometa. 2019. godina određena je kao referentna godina te sukladno tomu prometne nesreće razmatrale u relevantnom vremenskom razdoblju tri godine prije i poslije referentne godine.

Peto poglavlje govori o učinku prometne opreme uspornika prometa na vozilo u kretanju. Provedenom simulacijom pomoću softverskog alata PC Crash ustanovljeni su redovi veličina sila koje imaju relevantan učinak na vozilo u kretanju preko uspornika prometa.



## 2. DINAMIKA KRETANJA VOZILA

U tehničkim i prirodoslovnim znanostima razumijevanjem kretanjem tijela bavi se kinematika. Podpodjela područja kinematike sastoji se, između ostalog, i od dinamike. Dinamika je disciplina koja se bavi proučavanjem ne samo kretanja, već uzročno-posljedičnim vezama - razumijevanjem kako je došlo do određene promjene položaja tijela. Kretanje se elaborira kao promjena stanja tijela u smislu položaja u prostoru u određenom vremenu.[1]

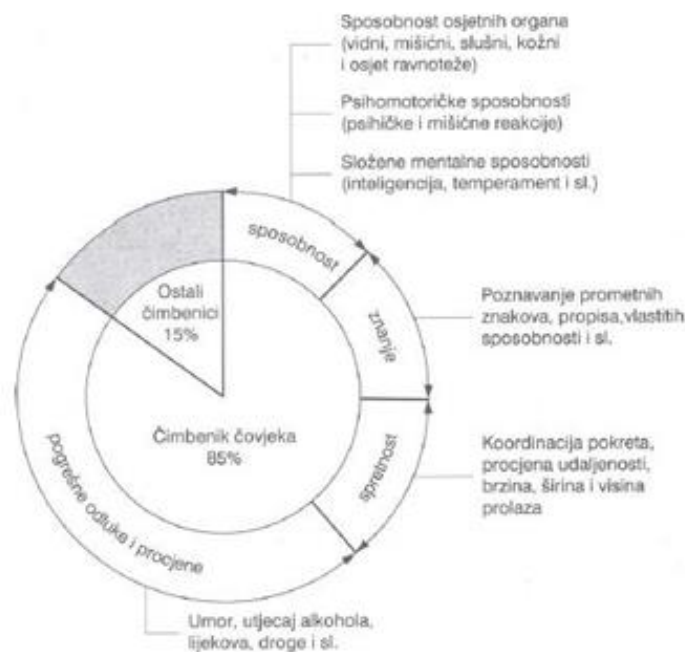
Tri su čimbenika na koja valja obratiti pozornost prilikom planiranja odvijanja prometnih procesa i postavljanja sigurnosti na zadovoljavajuću, što veću razinu. Okolina koju između ostalog čini i sama prometna infrastruktura odnosno okolina, vozilo i osoba koja upravlja vozilom.[1]

Čimbenik koji utječe na promet i odvijanje prometnih procesa, a dotiče se infrastrukture bitan je po uspostavljanju razine sigurnosti prometa u fazi projektiranja. Dakako, postoji mogućnost uslijed kvalitetne i kvantitativne promjene prometnog toka u vremenu da sigurnost replicira svoj varijabilan karakter. Promjena sastava prometnog toka stoga iziskuje redovito održavanje i konstantno prilagođavanje prometnoj potražnji putem svih svojih parametara. Primjerice neki od parametara ceste kao čimbenika sigurnosti prometa na koje valja obratiti pozornost su:

- Trasa ceste,
- tehnički elementi ceste,
- stanje kolnika,
- oprema ceste,
- rasvjeta ceste,
- križanja,
- utjecaj bočne zapreke i
- održavanje ceste.[1]

Osim toga, kroz okolinu u funkciji sigurnosti mogu se sagledati dodatno dva čimbenika. Prvi čimbenik okoline je incidentni čimbenik koji se koji može obuhvaćati pojmove kao što su nečistoće na kolniku, pojava ulja i drugih objekata primjerice, divlje životinje odnosno atmosfere prilike kao što su sunce, vjetar, oborine, poledica i slično, a koji uzrokuju smanjenje prometne sigurnosti. Drugi čimbenik okoline relevantan je za odvijanje samog prometa i prometnih procesa na cestama što uključuje organizaciju, kontrolu i upravljanje prometa.[1]

Drugi čimbenik sigurnosti prometa je čovjek. Osoba koja upravlja vozilom u skladu sa svojim karakterom odnosno svojom osobnošću obrađenim informacijama primljenima iz okoline uvjetuje svoju reakciju u postupke tijekom odvijanja prometnih procesa. Na kvalitetu vrednovanja čovjekova čimbenika u sudjelovanju prometne sigurnosti utječu osobne značajke vozača, psihofizička svojstva (osjeti za sluh, ravnotežu, vid, mišićni i mirisni) psiho-motoričke sposobnosti (brzina reagiranja, brzina izvođenja pokreta i sklad pokreta i opažanja) te obrazovanje i kultura (poznavanje zakona i propisa o reguliranju prometa, poznavanju kretanja vozila i poznavanje vlastitih sposobnosti).[1]



GRAFIKON 1: značajke čovjeka u sigurnosti prometa

Izvor: [1]

Treći čimbenik sigurnosti prometa je vozilo. Vozilo je prijevozno sredstvo namijenjeno prijevozu ljudi i dobara. Elementi koji uvjetuju vozilo sigurnosnim čimbenikom, aktivne i pasivne su prirode, a sve to mogućnostima kretanja istog. Samo vozilo kao tijelo, s obzirom na svojstvenu kinematiku, može se kretati ovisno o usmjerenju, pravocrtno ili krivoctno odnosno ovisno o brzini, jednoliko, usporeno ili ubrzano. Prema tome, aktivni elementi vozila služe kako bi prevenirali nedosljedno i nepravilno kretanje vozila u prometu dok pasivni elementi ublažuju posljedice takvog kretanja. Aktivnim elementima pripadaju:

- Kočnice,

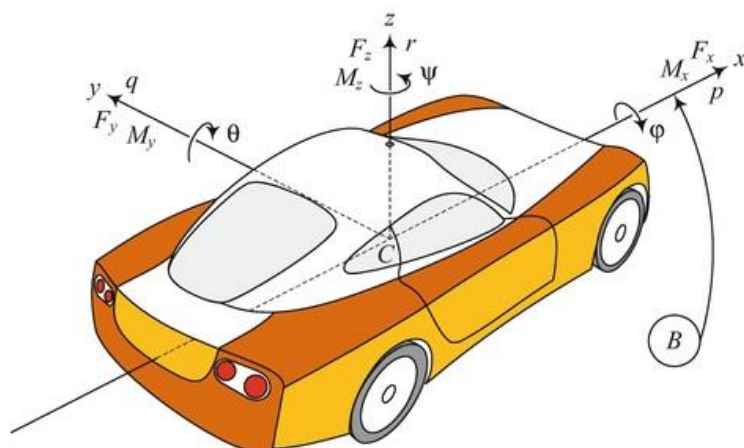
- upravljački mehanizam,
- gume,
- svjetlosni i signalni uređaji,
- uređaji koji povećavaju vidno polje vozača,
- konstrukcija sjedala,
- usmjerivači zraka,
- uređaji za grijanje, hlađenje i provjetravanje unutrašnjosti prostorije vozila,
- vibracije vozila i
- buka.[1]

Pasivnim elementima pripadaju:

- Karoserija vozila,
- vrata,
- sigurnosni pojasevi i
- nasloni za glavu.
- vjetrobranska stakla i zrcala,
- položaj motora, spremnika, rezervnog kotača i akumulatora,
- odbojnik i
- sigurnosni zračni jastuk.[1]

## 2.1. Utjecaj sila na stabilnost vozila u kretanju

Stabilnosti vozila uvjetuju sile koje djeluju na isto. Sile čija djelovanja se mogu pojaviti tijekom vožnje mogu se sagledati iz tri pravca odnosno ravnine kako prikazuje slika 1.



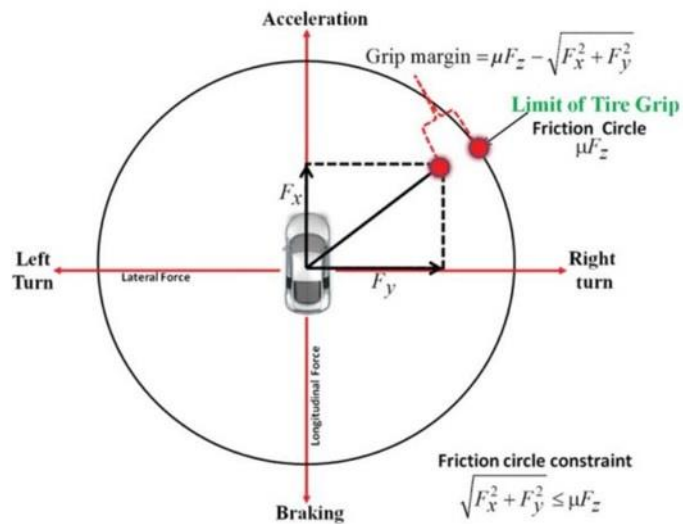
Slika 1: Trodimenzionalni kartezijev koordinatni sustav djelovanja sila na vozilo

Izvor: [5]

Spomenute sile koje djeluju na vozilo tijekom odvijanja prometnih procesa jednake su važnosti kada dovodimo razinu sigurnosti u pitanje. Prilikom prelaska vozila preko izbočina na cesti moguća je pojava sile po bilo kojoj ravnini koje zatvaraju koordinatne osi te time narušiti stabilnosti vozila odnosno sigurnost prometa. [2]

### 2.1.1. Stabilnost pri ubrzavanju vozila

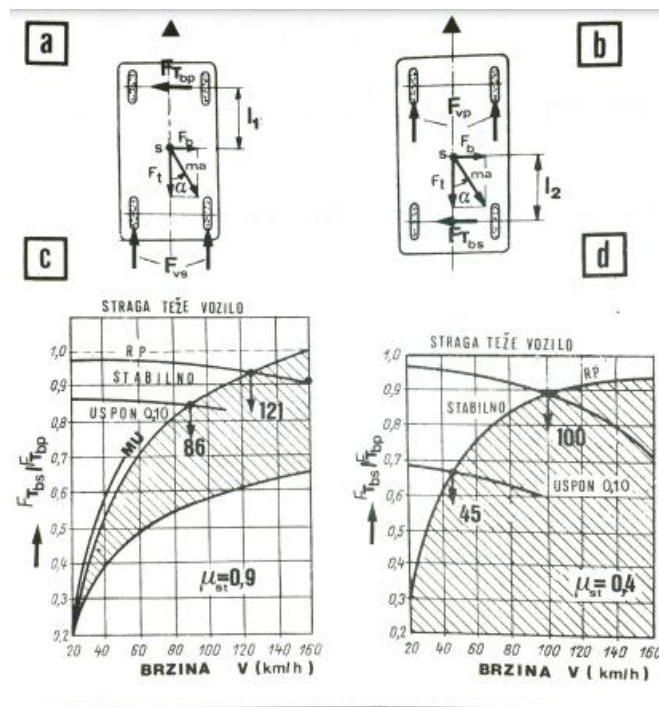
Uzdužne sile koje djeluju na vozilo odnosno tijelo koje se kreće proizlaze najčešće iz ubrzavanja ili usporavanja istog. Bilo da se radi o ubrzavanju ili usporavanju pojavljuje se sila inercije kao posljedica. Sila inercije definira se kao umnožak mase i akceleracije ( $m \times a$ ). Sila koja će se utječe na vozilo, a samim time se manifestira i na njegovu stabilnost ovisi o tome posjeduje li vozilo prednji ili stražnji pogon te kakav je raspored masa na takvom vozilu. Sljedeća slika 2 prikazuje koje sile u kojem trenutku kretanja te kojeg smjera djeluju na vozilo. [2]



Slika 2: Djelovanje sila na vozilo

Izvor: [6]

U slučaju ubrzavanja (prikazano slikom 3) stražnji kotači su pogonski te vučna sila  $F$  djeluje kako je prikazano na slici.



Slika 3: Elementi stabilnosti motornog vozila

Izvor: [2]

Posljedično vučnoj sili pojavljuje se sila inercije koja djeluje u suprotnom smjeru (koja nastoji zadržati tijelo u početnom položaju). Prilikom prelaska preko zapreke na kolniku sila koja djeluje na vozilo u obliku inercije otklonit će se od trenutne osi za određeni kut. U slučaju prikazanim slikom silu inercije nazvat će se  $F_b$  kao bočnom silom. Uslijed djelovanja bočne sile odnosno sile inercije na vozilo, dolazi do tendencije do zakretanja vozila oko vertikalne osi određenim momentom: [2]

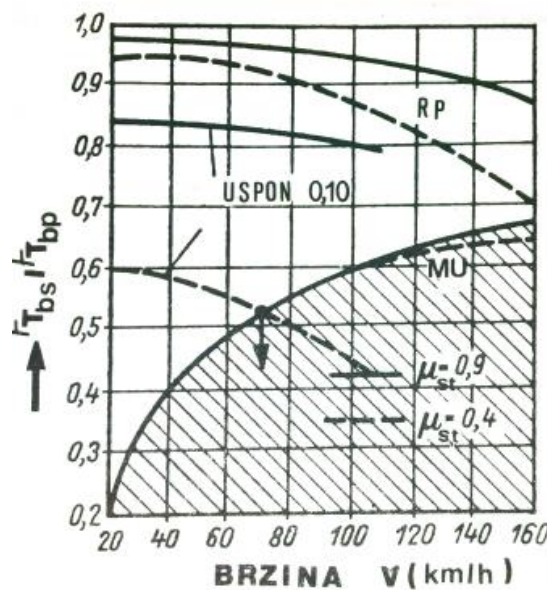
$$F_{Tbs} * l_1 = F_b * l_1 \quad [2]$$

Ukoliko zanošenje vozila postane većeg razmjera, proporcionalno istom se povećava i kut alfa, a njime i bočna sila koja djeluje na samo vozilo. U slučaju kada su pogonski kotači s prednje strane pri jednakim uvjetima kretanja dolazi isto tako do momenta zbog pojave bočne sile:

$$F_b * l_2 = F_{Tbs} * l_2 \quad [2]$$

Zbog momenta do kojeg je došlo djelovanjem bočne sile smanjuje se kut alfa te se time samo kretanje vozila stabilizira. Uzimajući u obzir utjecaj prednjih i stražnjih pogonskih kotača na produkciju količine bočne sile i uzimajući u obzir stabilitet vozila, vozila koja posjeduju pogon na prednjoj osovini pokazala su veću stabilnost u usporedbi s vozilima koja imaju pogon na stražnjoj osovini. Isto tako vozila s prednjim pogonom posjeduju veću sposobnost prijanjanja između kotača i ceste. Postoji granica odnosno korelacija između brzine i utjecaja bočne sile na vozilo iznad koje se gubi stabilnost vozila, a ista se može povratiti isključivo smanjivanjem vučne sile vozila i korekcijom putanje kretanja vozila kolom upravljača. [2]

Vrijednost kritične brzine iznad koje se gubi stabilnost je 160 kilometara na sat pod vremenski prilikama pri kojima je kolnik po kojem se kreće vozilo suh i u dobrom stanju te u slučaju kojeg je sila vjetra koja djeluje s bočne strane vozila ispred težišta samog vozila. Isto tako u toj situaciji podrazumijeva se da je stražnja strana vozila odnosno prepust teži te da u obzir nije uzeta vučna sila vozila. U slučaju da se u obzir uzme vučna sila koju vozilo proizvodi, kritična brzina smanjuje se sa 160 kilometara na sat na 121 kilometar na sat. U slučaju kada se takvo vozilo nalazi na usponu takva kritična brzina opada na vrijednost od 86 kilometara na sat. Vrijednosti parametara pri spomenutom kretanju vozila prikazuje sljedeća slika 4. [2]



Slika 4: Utjecaj bočne sile na vrijednosti kritične brzine

Izvor: [2]

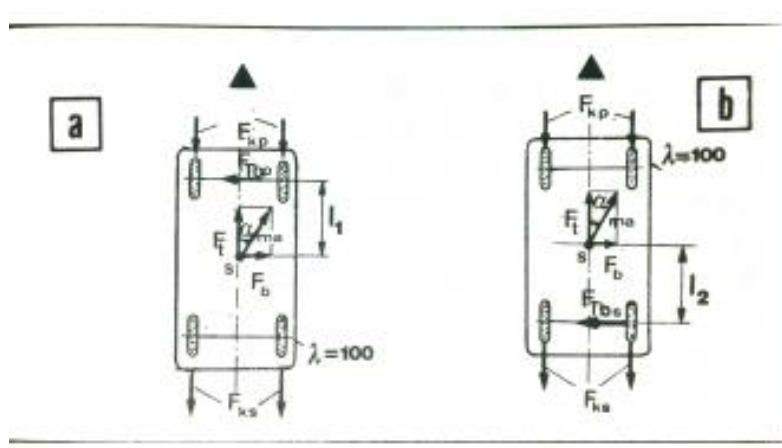
Primjerice, na slici je vidljivo kako pad koeficijenta trenja, na primjer na 0,4, kritična brzina smanjuje za gotovo 50%. U slučaju da se mogućnost upravljača popravi u smjeru elastičnosti te da se kao takav "omekani", proporcionalno se povećava i kritična brzina kretanja vozila. Pojava koja se može dogoditi uslijed djelovanja sile čija se silnica nalazi u težištu vozila ili neposredno blizu njega isto tako je prikazano gornjom slikom 4. Ovoga puta u korist grafikonu slike, veća težina vozila karakterističnija je za njegov prednji dio. Vozilo čija težina prevladava na prednjem prepustu, a posjeduje pogon na stražnjoj osovini, kreće se kao stabilno sve dok se nalazi u odgovarajućim granicama prianjanja pneumatika na kontaktnu podlogu po kojoj se kreće. U slučaju da se kvaliteta prianjanja pneumatika i podloge smanji, vozilo se nalazi u labilnom području upravljanja. Vozilo koje ima pogon na stražnjoj osovini te mu težina prevladava na stražnjem prepustu, u labilnom području upravljanja naći će se veći pri manjoj brzini kretanja od 72 kilometara na sat. [2]

Vozilo koje posjeduje pogon na prednjoj osovini ponaša se stabilno tijekom cijelog intervala kretanja. Mjesto na kojem se krivulje na grafikonu sijeku nalazi se granica stabilnosti odnosno granica klizanja vozila. To znači kako prednji pogonski kotači više ne mogu savladati bočnu silu, primjerice bočnu silu djelovanja vjetra.

Kod vozila koja imaju pogon na stražnjoj osovini, sposobnost stabilnosti vozila u kretanju smanjuje se proporcionalno sa smanjenjem sile priranja pneumatika na podlogu po kojoj se isto kreće. U slučaju povećanja elastičnosti upravljača vozila i premještanje težine cijelog vozila k prednjoj osovini povećava se stabilnost vozila u kretanju. Gubitak stabilnosti vozila u kretanju moguće se povratiti korekcijom putanje kretanja vozila upravljačem i oduzimanjem odnosno smanjenjem vučne sile vozila. [2]

### 2.1.2. Stabilnost pri usporavanju vozila

Moguća pojava tijekom kretanja vozila odnosno tijekom njegova usporavanja, a koja uzrokuje potencijalno opasnu situaciju je blokiranje kretanja kotača stražnje osovine. Tijekom blokiranja okretanja kotača stražnje osovine uslijed usporavanja vozila u kretanju dolazi do okretanja vozila oko vertikalne osi, što se prosječnom vozaču u skladu sa sposobnostima pripisuje kako nesavladivo. Primjerice, na slici 5 je prikazan opisani slučaj kretanja vozila. Na istoj, može se vidjeti kako inercijska sila koja bi trebala djelovati po uzdužnoj osi vozila čime bi isto zadržala u stabilnom području kretanja, djeluje izvan njega. Uslijed djelovanja izvan uzdužne osi kretanja vozila pojavljuje se bočna sila. Tijekom perioda djelovanja bočne sile, ravnotežu vozila moraju moći održavati bočne sile koje se pojavljuju između pneumatike i podloge po kojoj se vozilo kreće. [2]



Slika 5: Blokiranje prednje ili stražnje osovine

Izvor: [2]

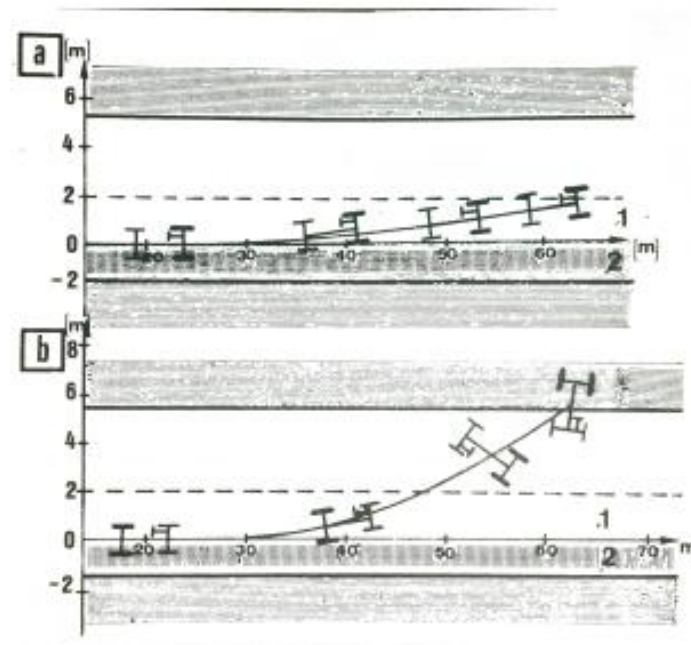
U slučaju kada bi stražnji kotači vozila uslijed usporavanja istog blokirali, kako bi se vozilo zadržalo u stabilnom odnosno upravljivom položaju, prednji kotači moraju moći podnijeti



utjecaj bočnih sila. Takva, bočna sila svoje djelovanje manifestira preko momenta  $F_b - l_1$ . Ukoliko se djelovanje bočna sila povećava kutom alfa, moment okretanja vozila poprima veću vrijednost. Tijekom takvog perioda nisu mogući znatni zakretaji upravljača vozila s obzirom da prednji kotači mogu podnijeti određenu količinu bočne sile kako bi ostali upravljivi i vozilu u najstabilnijem mogućem položaju. [2]

U slučaju da se primjeni znatniji zahvat na upravljaču vozila koji prednji upravljivi kotači ne mogu podnijeti (tijekom blokade stražnjih kotača i pri usporavanju vozila), dolazi do proklizavanja i prednjih kotača. Rješavanje problema gubitka kontrole nad vozilom uslijed blokade kotača stražnje osovine vozila moguće je periodičnim smanjivanjem sile kočenja papučicom unutar vozila. Na taj način odblokirat će se stražnji kotači vozila na koje će se isto tako prenijeti dio bočne sile koje vozilo mora savladati kako bi ostalo upravljivo te kako bi se otklonila opasnost od nastanka prometne nesreće. Isto tako samim time prijeći će se daljnja tendencija vozila za okretanjem.[13]

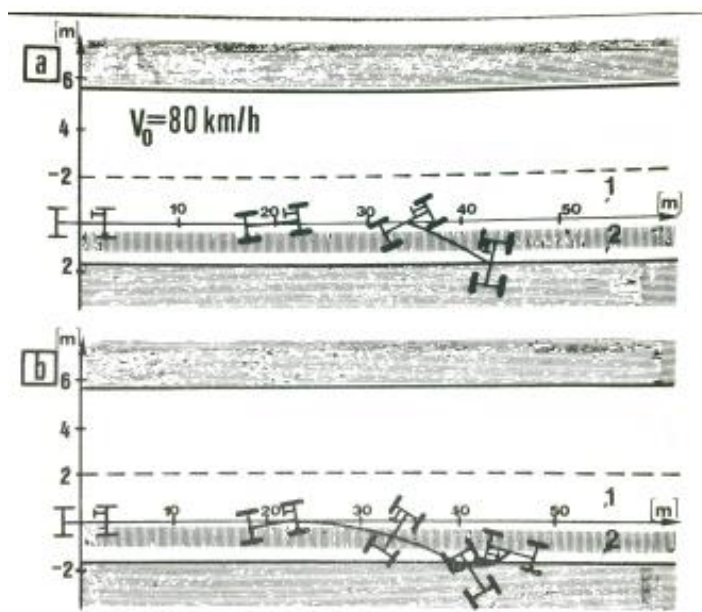
Na sljedećoj slici 6 prikazano je nekoliko položaja vozila prilikom punog kočenja pri 80 kilometara na sat. Tijekom cijelog procesa usporavanja, blokirali su isključivo prednji kotači dok vozač koji upravlja vozilom upravljač drži čvrsto pod kutom od 0 stupnjeva, bez otklona.



Slika 6: Kretanje vozila pri ekstremnom kočenju

Izvor: [2]

Potrebno je napomenuti i uzeti u obzir nedosljednost uvjeta vozne podloge po kojoj se kreće vozilo. Zbog primjerce vlake odnosno suhoće kolnika ili kombinacije jednog i drugog moguće je doći do narušenih uvjeta okoline te na samu dinamiku kretanja vozila može djelovati tzv. poremećajna sila. Tako prilikom prolaska vozila po kolniku dio vozne površine može biti suh, a dio vlažan što može uzrokovati zanošenje vozila blokiranjem različitih kotača pojedine osovine zbog različitog koeficijenta prijanjanja i različitog koeficijenta trenja. Neravnomjerno sušenje kolnika izraženo je neposredno nakon padalina tijekom cijele godine. Isto tako značajnu razliku u stabilnoj dinamici tijekom kretanja vozila može napraviti blato koje se nanosi sa sporednih pravaca kretanja vozila. Vozilo pri nailasku na takvu situaciju ponaša se vrlo slično kao i vozilo pri iznenadnom ekstremnom kočenju. Na sljedećoj slici 7 prikazano je kretanje vozila koje usporava, ali tijekom tog usporavanja na kotačima su djelovale različite sile kočenja i istog takvog vozila koje tijekom usporavanja ima na kotačima različite slike kočenja dolazi do dodatnog zanošenja uslijed promjene opterećenja. Konkretno, u ovom slučaju riječ je o većem opterećenju prednje osovine vozila. [2]

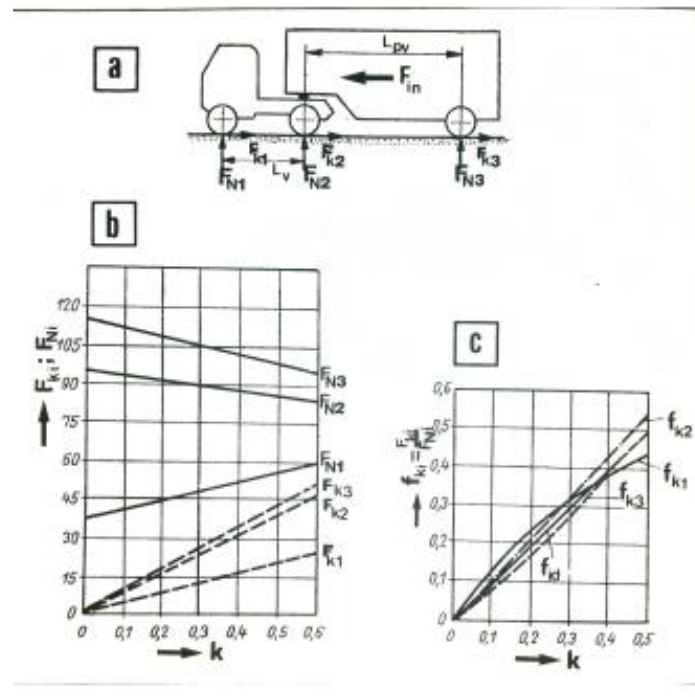


Slika 7: Destabilizacija vozila pri kočenju

Izvor: [2]

### 2.1.3. Stabilnost skupa vozila

Sintagma stavlja naglasak na kretanje vučnih vozila koja posjeduju poluprikolicu ili koja konstrukcije zglobnih autobusa te stabilnost njihove dinamike kretanja. Sila kočenja na pojedinim osovina povećava se razmjerno s usporenjem skupa vozila, dok se dinamički tlak osovina, zbog utjecaja inercijalnih sila, povećava na prvoj osovini dok se isti smanjuje na drugoj i trećoj osovini. Opisana situacija prikazana je sljedećom slikom broj 8. [2]

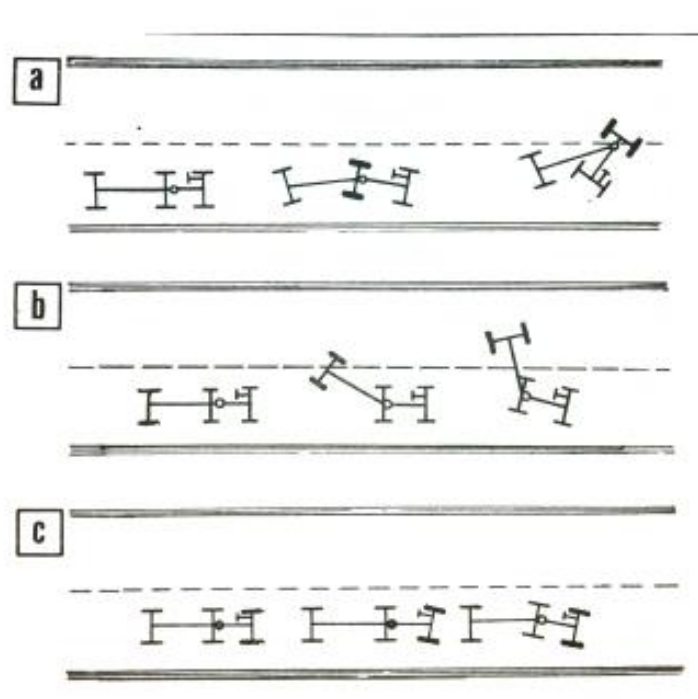


Slika 8: Analiza stabilnosti pri kočenju skupa vozila

Izvor: [2]

Na slici se isto tako može uočiti kako dinamika kretanja vozila odnosno opterećenje isto nije razmjerno kao samo usporenje odnosno kočenje vozila, već je ono približno. Idealan odnos usporenja i dinamičkog opterećenja moguće je postići isključivo uz određene uvjete efikasnosti kočenja. Na slici pod dijagramom c prikazan je idealan slučaj u kojem je iskorištenje prijanjanja vozila odnosno pneumatika na podlogu maksimalno iskoristivo te se kao takvo poklapa s pravcem koji je pod kutom od 45 stupnjeva. Prema dijagramu može se zaključiti kako su kotači koji pripadaju trećoj osovini u potpunosti potkočeni. Prednja osovina vučnog vozila pri malim promjenama brzine odnosno usporenja je prekočena dok je ista pod utjecajem veće promjene brzine odnosno usporenja vozila potkočena uslijed djelovanja velikog dinamičkog tlaka. Kotači na pogonskoj osovini vučnog vozila dva u maloj su mjeri prekočeni u cijelom području kočnog koeficijenta. Kada je riječ o opasnosti prekočenja kotača određene osovine,

one nisu jednake. Najopasniji slučaj je prekoćenje kotača pogonske odnosno druge osovine uslijed čega može doći do značajnijeg utjecaja bočne sile te zanošenja vozila te gubitak upravljivosti i nadzora nad vozilom zbog proklizavanja iste osovine. Dodatna opasnost na koju valja obratiti pozornost kod skupa vozila je ta da se utjecaj bočne sile, a samim time i zanošenje, potencijalno može povećati gurajućim djelovanjem poluprikolice. Prilikom takve situacije dolazi do "sklapanja". Fenomen sklapanja vozila prikazan je sljedećom slikom broj 9. [2]

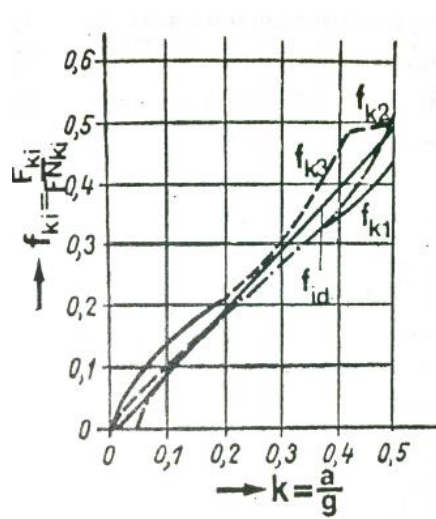


Slika 9: Različiti slučajevi zanošenja skupa vozila

Izvor: [2]

U prikazanome slučaju dolazi do zanošenja stražnje dijela vozila u lijevu stranu što može prouzrokovati opasnu situaciju od sudara i naleta vozila s lijeve strane suprotnog smjera kretanja. Najmanje opasna situacija je prilikom pojave klizanja pneumatika kotača prednje osovine. Za takvo stanje je karakteristično kako je tijekom perioda klizanja prednje osovine skup vozila neupravljiv. Pozitivno je to što se upravljivost vrlo lako može povratiti i time korigirati po potrebi sama dinamika kretanja vozila, smanjenjem sile kočenja odnosno samog usporenja. Pojavu blokiranja kotača na drugoj i trećoj osovini moguće je smanjiti odnosno kontrolirati posebnim uređajima odnosno regulatorima sile kočenja na tim osovinama. Kod skupa vozila specifična je udaljenost treće osovine koja je veća. Zbog povećane udaljenosti treće osovine dolazi do kašnjenja sila odnosno djelovanju tlaka. Takvo kašnjenje kompenzira se s naglim pritiskom na sustav kočenja što je razlog usklađenosti cijelog sustava. Takva

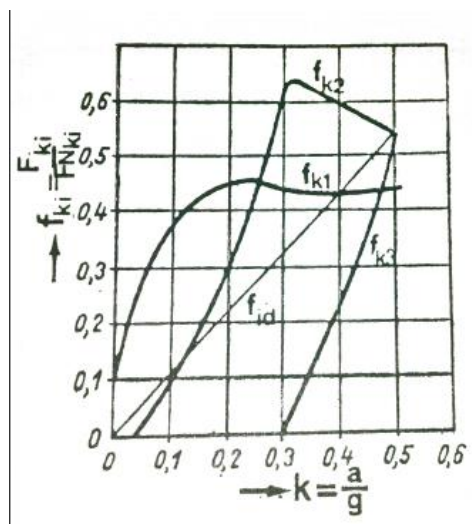
specifična sila kočenja samo pri najvećim usporenjima podudara se sa zahtijevanom silom kočenja, odnosi pritisaka podudaraju se s najvećim usporenjem (slika 10). [2]



Slika 10: Kočno djelovanje i specifična sila kočenja

Izvor: [2]

U stvarnosti je specifična sila kočenja, pri potpunom iskorištenju adhezije, jednaka zahtijevanom koeficijentu adhezije te se stoga onda više razilazi od idealnog pravca pod kutom od 45 stupnjeva, ako je veća brzine pritiska na papučicu, što je vidljivo na sljedećoj slici 11. [2]



Slika 11: Odnos kočnog djelovanja i specifične sile kočenja pri iznenadnom i snažnom kočenju

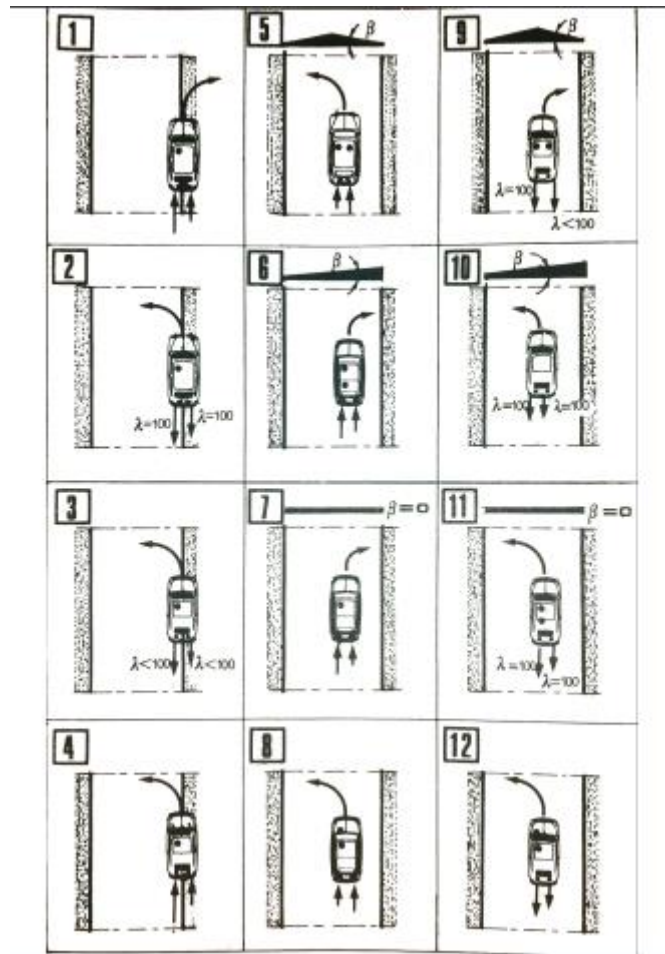
Izvor: [2]

Adhezijski zahtjev osovina u velikoj se mjeri razlikuje od idealnog. Primjerice prva osovina posjeduje veću sposobnost klizanja prilikom kočenja, nego prilikom najvećeg usporenja. S druge strane pogonska osovina sklona je blokiranju tijekom kočenja jer njezin adhezijski zahtjev tijekom kočenja je mnogo veći nego pri krajnjem stanju. Naklonost za prekomjerno kočenje je veća što je veća zahtijevana vrijednost usporenja. Na trećoj osovini adhezijski koeficijent postiže svoju maksimalnu vrijednost pri razvoju najvećeg usporenja.

## 2.2. Kretanje vozila po površinama s različitim koeficijentima trenja

Kvaliteta kolničkog zastora po kojoj se kreću vozila može se vrednovati različitim parametrima u ovisnosti o točki razmatranja. Jedan od parametara kvalitete kolničkog zastora je materijal od koje se i sam sastoji. Materijal izrade i način implementacije u prometnu mrežu uvjetovat će sigurnost odvijanje prometnih procesa i stabilnost dinamike kretanja vozila kolnikom. Koeficijent trenja ima direktan utjecaj na zadržavanje odnosno skretanje vozila s putanje kretanja. [2]

Na sljedećoj slici 12 prikazane su vrste skretanja vozila kada se desni kotači vozila nađu na površini čiji je koeficijent trenja izrazito nizak. Primjerice, potencijalna pojava opisane situacije ože uslijediti prilikom kretanja jednog dijela vozila (u ovom slučaju desnog) po površini koja je veće vlažnosti od ostatka kolnika ili dijelu kolnika čija potrošnja kao razlog održavanja iznimno visoka (oštećenje dijela kolnika ili kretanje po bankini). U kretanju vozila djeluje sustav sila te ukoliko isti sustav promatramo kao zatvoren, jedna od impulsnih sila se suprotstavlja vučnoj sili, a koja uvelike doprinosi stabilnosti vozila koje se nalazi u kretanju je diferencijal vozila. Na slikama na kojima je prikazano kretanje vozila u različitim situacijama zanemaren je stabilizirajući utjecaj diferencijala i to na slikama 1, 4, 5, 6, 7, 8. takvu iznimku moguće je napraviti isključivo pri niskim koeficijentima prianjanja. [2]



Slika 12: Primjeri skretanja vozila s pravca kretanja

Izvor: [2]

Na prvoj skici slike prikazano je vozilo koje se kreće te situacija kada dolazi do razlike rezultirajuće sile na lijevim kotačima u odnosu na desne kotače. Uslijed opisane situacije rezultat je skretanje vozila u desnu stranu čime je vozilo izbačeno izvan površine kolnika.

Na drugoj skici slike prikazano je vozilo koje se kreće te situacija u kojoj osoba koja upravlja vozilom intenzivno koči. Uslijed intenzivnog usporavanja vozila i djelovanje istih sila na vozilo različito, vozilo biva izbačeno sa površine kolnika u svoju slijevu stranu. Ovaj slučaj za razliku od prethodnog dodatno ugrožava prometni proces s obzirom kako je putanja kretanja vozila preusmjerena u mogući tok vozila koja se kreću smjerom kolnika koji je namijenjen suprotnom smjeru.

Treća skica koja je prikazana slikom ima za prikaz vozilo koje je u kretanju i nalazi se u situaciji koje koči odnosno usporava te desni kotači vozila na granici blokiranja dok lijevi nisu blokirani. U takvoj situaciji dinamika vozila za rezultat ima skretanje putanje vozila u

njegovu lijevu stranu. Posljedice koje dinamika i putanja kretanja vozila može ostaviti utiskom su jednake kao kod prethodnog slučaja.

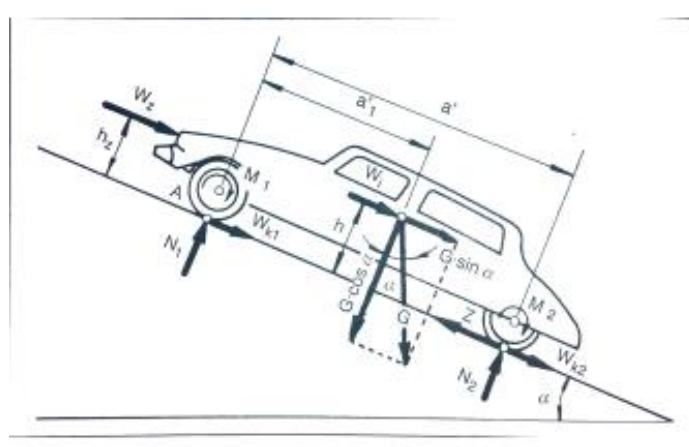
Četvrta skica slikovnog prikaza prikazuje situaciju u kojoj vozilo koje se nalazi u kretanju ubrzava. Osim toga, desni kotači vozila kreću se izvan voznog dijela kolnika, po bankini. Zbog razlika koje su prouzrokovane u sili desne u odnosu na lijevu dinamika kretanja vozila ima težnju skrenuti putanju kretanja samog vozila u desnu stranu, izvan vozne površine kolnika. U ovom slučaju osoba koja upravlja vozilom poduzima radnju okretanja upravljača u suprotnu, lijevu stranu kako bi ispravio novu putanju kretanja u tendenciji zadržavanja one početne. Pri velikim brzinama osoba koja upravlja vozilom ne može procijeniti odnos količine upotrijebljene i potrebne sile na upravljač vozila te se rezultat iskazuje u obliku promjene putanje vozila iz desne u lijevu stranu. Bez obzira na moguće pravovremenu reakciju osobe koja upravlja vozilom i tendenciji za ponovnu uspostavu stabilnosti vozila, kvaliteta reakcije vozača pokazala se neispravna. Ispravna reakcija vozača odrazila bi se u prvenstveno smanjenju brzine kretanja vozila te po istom vraćanje desnih kotača na voznu površinu kolnika pri čemu bi se izbjegla destabilizacija vozila u kretanju.

Vozilo u kretanju kako bi se kretalo mora svladati niz otpora koje na njega utječu i kojima je isto izloženo. Vučna sila vozila omogućava svladavanje otpora. Vučna sila djeluje uvijek u smjeru u kojem se vozilo kreće te na taj način svladava sile koje se protive kretanju. Sila koja omogućava kretanje vozila pojavljuje se kao reakcija obodnih sila na mjestu dodira pogonskih kotača i kolnika. Najvažniji otpori koje vučna sila mora savladati kako bi istom omogućila kretanje su kako slijede.

- Otpor nagiba,
- otpor sile inercije,
- otpor kotrljanja i
- otpor zraka.[1]

Osim navedenih otpora koji imaju utjecaj na kretanje vozila, a djeluju izvan sustava vozila, prisutni su isto tako otpori koje samo vozilo kao posljedicu kretanja mora savladati, a koji se nalaze u njegovom sustavu. Primjerice, takvi otpori unutar sustava vozila jesu u obliku unutarnjih otpora u samom motoru predmetnog vozila i njegovoj transmisiji. Takvi otpori nemaju značajan utjecaj na stvaranje kretanja vozila i njegovu dinamiku te se stoga najčešće zanemaruju. Sljedeća slika pod brojem 13 prikazuje sile i njihov raspored odnosno pojedini momenti istih, a koje djeluju na vozilo tijekom njegovog kretanja u usponu.





Slika 13: Raspored sila i momenata u djelovanju na vozilo

Izvor: [1]

Silu koja se suprotstavlja prilikom uspona ili pomaže pri padu ceste kretanju vozila je otpor nagiba. Sila otpora uspona  $W_u$  je utrošak vučne sile koji je potreban da se na cesti duljine  $L$  podigne vozilo težine  $G$  na visinsku razliku  $\Delta h$ . iznos vrijednosti očituje se u sljedećem izrazu: [1]

$$W_u = G \cdot \frac{\Delta h}{L} = G \cdot \sin \alpha$$

U jednadžbi kut  $\alpha$  predstavlja nagib pod kojim se podloga kretanja vozila nalazi.

Nadalje, sila otpora koja je prouzrokovana djelovanjem sile inercije tijekom kretanja vozila karakteristika je tijela, primjerice, tijekom ubrzanja, odnosno prilikom svake promjene položaja tijeka u prostoru ( $W_i$ ). Jednadžba po kojoj je moguće dobiti iznos vrijednosti sile pri analitičkoj analizi je kako slijedi: [1]

$$W_i = \frac{G}{g} \cdot a \cdot \varphi$$

U jednadžbi,  $g$  predstavlja ubrzanje sile teže, a koje iznosi  $9,81 \text{ m/s}^2$ .  $\varphi$  s druge strane predstavlja koeficijent utjecaja rotacijskih masa. Koeficijent utjecaja rotacijskih masa zasebna je karakteristika konstrukcije vozila te isto tako ovisi o primijenjenom stupnju prijenosa u mjenjaču. Primjerice, kod osobnog vozila kod najnižeg stupnja prijenosa vrijednost varijable iznosi u intervalu vrijednosti  $1,5 - 1,8$ , dok kod najvišeg stupnja prijenosa ta vrijednost nosi težinu intervala  $1,05 - 1,06$ . Za teretna vozila kod najnižeg stupnja prijenosa vrijednost iste varijable iznosi u intervalu  $2,0 - 3,0$ , a kod najvišeg stupnja prijenosa ta vrijednost varijable je u intervalu  $1,06 - 1,08$ . [1]

Sila otpora kotrljanja vozila  $W_k$  dobiva se zbrajanjem sile otpora kotrljanja svakog pojedinog kotača. Na silu otpora kotrljanja na cesti u nagibu utječe samo komponenta mase vozila  $G \cdot \cos\alpha$  te u skladu s time vrijednost sile iznosi: [1]

$$W_k = G \cdot w_k \cdot \cos\alpha$$

$W_k$  predstavlja koeficijent otpora kotrljanja u koji se ubraja utjecaj trenja ležajeva kotača vozila, hrapavost i deformacija kolnika odnosno kotača te opterećenje kotača i sl. Vrijednost koju će nositi koeficijent otpora kotrljanja isto tako ovisi o kvaliteti kolničkog zastora po kojem se vozilo kreće, njegov stanju i održavanju. Stoga, na ravnom kolničkom zastoru koeficijent otpora kotrljanja ima vrijednost u intervalu ,0012 – 0,020, a srednje ravnom zastoru, vrijednost iznosa mijenja se na interval 0,018 – 0,030, dok na deformiranom odnosno istrošenom kolniku vrijednost ovog parametra iznosi u intervalu 0,025 - 0,040.

Uslijed kretanja, otpor zraka je sljedeća sila koju vozilo mora moći uspješno svladavati. Otpor zraka  $W_z$  predstavlja udar zračnih masa koje djeluju na vozilo u pokretu. Sila koja djeluje na to vozilo može se razložiti na pritisak koji se vrši na čelnoj površini, trenju čestica zraka na bokovima i unutarnjim dijelovima vozila te vrtloženje zraka iza vozila zbog depresije. Sila koja djeluje otporom zraka u međuovisnosti je o brzini kretanja samog vozila, o čelnoj površini, obliku samog vozila koje se kreće i gustoći medija, zraka kroz koje se vozilo kreće. Vozilo kod koje je prisutna brzine kretanja u iznosu manjim od 45 kilometra na sat zanemarivo je. Specifični pritisak koji zračne mase proizvode na vozilo u kretanju jednak je živoj sili pokrenutog zraka odnosno prikazano jednadžbom: [1]

$$p = m \cdot \frac{V_r^2}{2}$$

Ukupna sila otpora zraka iznosi:

$$W_z = 0,05 \cdot k_z \cdot F_{\check{c}} \cdot V_r^2$$

U jednadžbi  $k_z$ , koeficijent otpora zraka određuje se eksperimentalno i u međuovisnosti je o aerodinamičnom obliku školjke vozila.  $F_{\check{c}}$  predstavlja čelnu površinu vozila dok  $V_r$  relativnu brzinu vozila koje se kreće. [1]

Prema otporima koji utječu na vozilo u kretanju može se odrediti ona vučna sila koja je potrebna za njihovo svladavanje. Kako bi se vozilo kretalo, minimalna vučna sila mora imati jednaku vrijednost iznosa kao i zbroj svih sila otpora kretanja vozila: [1]

$$Z = W_u \pm W_i + W_k + W_z$$

Osim spomenutih sila, na dodiru kotača s cestom isto tako djeluju sile koje su produkti momenti otpora kotrljanja  $M_1$  i  $M_2$ : [1]

$$M = GV \cdot wk \cdot rd \cdot \cos\alpha$$

### 3. OPREMA ZA SMIRIVANJE PROMETA NA CESTAMA

Oprema za smirivanje prometa na cestama od vitalne je važnosti za sigurnost svih sudionika prometnog toka kao i prometnih procesa. Premda integriranje opreme za smirivanje prometa predstavlja invazivnu metodu upravljanja prometom, cilj je u rezultatima nakon postavljanja prometne opreme očitati povećanu prometnu sigurnost kroz smanjenje broja prometnih nesreća.

Prometna oprema koja služi smirivanju prometnog toka na cestama te podizanju prometne sigurnosti na zadovoljavajući stupanj može se podijeliti na nekoliko skupina prema raznovrsnim kriterijima. Oprema za smirivanje prometa na prometnici mora biti postavljena sukladno uvjetima po kojima se sam promet i odvija. Parametri po kojima se promet odvija, od kojih su neki poput brzine i lokacije postavljanja opreme, uvjetovat će vrstu opreme za postavljanje odnosno intenzitet kojim bi ta oprema trebala utjecati na sudionike prometa. Sukladno tomu prometnu opremu za smirivanje prometa moguće se svrstati u nekoliko skupina:

Nekoliko je kategorija prometne opreme za smirenje prometa među kojima su:

- Optičke bijele crte upozorenja,
- trake za zvučno upozoravanje,
- umjetne izbočine,
- uzdignute plohe na kolniku,
- stupići za zaprečavanje prolaza i usmjeravanje vozila i
- preventivni radarski mjerač s pokazivalom brzine kretanja vozila. [7]

Umjetne izbočine i uzdignute plohe ili kolokvijalno uspornici prometa, predstavljaju prometnu opremu za smirenje prometa na cestama na mjestima u prometnoj mreži gdje je procijenjena nužna intervencija invazivnom strategijom upravljanja prometom. Svaku lokaciju na kojoj se postavlja oprema za smirenje prometa potrebno je proučiti te situaciji prilagoditi izbor opreme.

Tako se umjetne izbočine i uzdignute plohe, u pravilu, postavljaju na mjesta kao što su lokalne i nerazvrstane ceste u naselju, pored javnih objekata i prostora (škole, dječji vrtići, igrališta i sl.), a na kojima je nužno usporavanje brzine kretanja vozila radi sigurnosti prometa. [7]

Razlikujemo tri vrste umjetnih izbočina s obzirom na brzinu koju umjetna izbočina podržava:

- za 50 km/h ili manje širina ne smije biti manja od 60 cm, a visina ne smije prelaziti 3 cm,
- za 40 km/h i manje širina ne smije biti manja od 90 cm, a visina ne smije prelaziti 5 cm,
- za 30 km/h i manje širina ne smije biti manja od 120 cm, a visina ne smije prelaziti 7 cm. [7]

Svakom usporniku s gore navedenim specifikacijama dodijeljena je brzina koja označava gornju granicu prilazne brzine s kojom vozila može prijeći preko prometne opreme, a da je zajamčena maksimalna moguća sigurnost za vozilo i osobe koja njime upravlja.

Osim samog odabira prometne opreme sukladno lokaciji na kojoj je predviđeno postavljanje iste, neophodna je pravilna implementacija sukladno tehničkim elementima. Prema tomu umjetne izbočine moraju biti dobro i pravilno usidrene u kolnički zastor čime se prječava odvajanje pojedinih elemenata i njihovih dijelova. Umjetne izbočine postavljaju se na način da su orijentirane poprečno na smjer kretanja vozila.

Na samome mjestu postavljanja cestovne infrastruktura mora biti pravilne izvedbe u smislu kako ne bi došlo do narušavanja sigurnosti odvijanja prometnih procesa. Primjer neadekvatne izvedbe može biti nepravilno izveden sustav odvodnje.[3]

Svaka umjetna izbočina ili uzdignuta ploha koja se nalazi na prometnici mora biti pravilno označena prometnim znakovima, horizontalnim i vertikalnim. vertikalni prometna signalizacija sačinjena je od prometnih znakova "neravan kolnik" (A09), "ograničenje brzine" (B30) uz dopunsku ploču (E19) ili prometnim znakom "umjetna izbočina" ili "uzdignuta ploha" (C08), pločom za "označavanje prometnog otoka" (K05), "pločom za označavanje bočne zapreke" (K12, K12-1) i oznakama na kolniku (H55, H55-1, H55-2 ili H55-3). Površina samih uspornika mora biti od neklizajućeg te koja isto tako mora biti označena retroreflektirajućim materijalima na strani prilazne putanje vozila. [7]

Plohe umjetnih izbočina kao odnosno uzdignutih ploha imaju dozvoljenu maksimalnu visinu od 7,5 centimetara te nagib prilaznih rampi u omjeru između 1:15 i 1:20. Sve vrste i oblici umjetnih izbočina isključivo su konveksnog oblika. Dužina prilaznih rampi iznosi 100 centimetara. Ukoliko se umjetne izbočine postavljaju u nizu jedna za drugom nužno je da međusobna udaljenost iznosi između 20 i 60 metara u ovisnosti o situaciji. [7]

Implementacija umjetnih izbočina i uzdignutih ploha kao opreme za smirenje prometa nije dopuštena na mjestima visoko frekventivnog pojavljivanja vozila medicinske pomoći i ostalih hitnih službi. [7]

Nekoliko je materijala i oblika od kojih umjetne izbočine mogu biti sastavljene. Osnovna forma uspornika prometa odabire se ovisno o željenom učinku na promet i karakteristikama same lokacije postavljanja.

### 3.1. Uspornici od reciklažne gume

Uspornici od reciklažne gume pripadaju segregacijskoj skupini koji imaju blaži utjecaj na vozilo putem sila uzdužnog udara. Takav utjecaj omogućuje materijal koji je u određenoj mjeri elastičan odnosno ima veći prag tolerancije na deformaciju uzrokovanu vanjskim silama. Premda su umjetne izbočine konveksnoga oblika, dodatna podjela kod uspornika od reciklažne gume može biti na četvrtasti oblik ili oblik obliha jastuka. [7]

Slika 14 prikazuje uspornike četvrtastog oblika koji je sastavljen od manjih dijelova. Karakteristika ovakvih uspornika su nešto izražajniji rubovi koji naizgled čine značajniju prepreku te su s toga vozači primorani dodatno obratiti pozornost na regulaciju brzine kretanja vozila preko istog.



### Slika 14: Četvrtasti uspornik prometa od reciklažne gume

Slika 15 prikazuje uspornik oblika oblog jastuka koji je isto tako sastavljen od manjih dijelova reciklažne gume. Od četvrtastog oblika ovog tipa uspornika oblik jastuka se razlikuje po tome što nema izražene rubove čime omogućuje veće provodne brzine te time zahtjeva manju vozačevu pozornost na prilagođavanje brzine upravljanja vozilom.



Slika 15: Jastuci od reciklažne gume

Izvor: [14]

### 3.2. Betonski uspornici

Uspornici napravljeni od betona imaju smanjenu sposobnost deformacije od uspornika koji se sastoje od reciklažne gume. Samim time što je beton kao materijal smanjene razine elastičnosti, intenzivnije su sile koje trpi vozilo prelaskom preko istog polučene uzdužnim udarom. Uspornici koji su napravljeni od materijala kao što je beton mogu se pojavljivati u nekoliko oblika u ovisnosti o intenzitetu utjecaja na vozilo.

Slika 16 prikazuje uspornika od betonskog materijala koji se pojavljuje u obliku jastuka te pruža prepreku prilikom prelaska vozila.



Slika 16: Betonski jastuci

Slika 17 prikazuje uspornik koji svojim oblikom vizualno pruža značajnu prepreku za vozilo koje preko njega prelazi. Postavljanje uspornika obavlja se poprečno od putanje kretanja vozila. Ovakav tip uspornika prometa postavlja se na lokacije kao što su parkirališta i prilazne ceste odnosno ulice kao i u blizini škola.





Slika 17: Betonski uspornik

### 3.3. Uzdignute plohe

Poseban oblik opreme za smirivanje prometa na cestama čine uzdignute plohe (prikazano slikom 18). Uzdignute plohe su građevinski izvedene površine za prisilno smirivanje brzine. U izvedbi se mogu pronaći pojedinačno ili u nizu. Na mjestima gdje se ovaj tip prometne opreme može pronaći pojedinačno ili u nizu većinom se nalaze obilježeni pješački prijelaz(i) [7]. Oblik prometne opreme izvodi se u trapeznom obliku cijelom širinom kolnika.



Slika 18: Uzdignuta ploha

## 4. ANALIZA BROJA PROMETNIH NESREĆA NAKON POSTAVLJANJA OPREME ZA SMIRIVANJE PROMETA

Provedbom implementacije strategije potrebno je provesti u određenom intervalu analizu učinkovitosti primjene alata. Potreba za utvrđivanjem funkcionalnosti u svrhu kako ne bi došlo do kontraproduktivnosti pojavljuje se iz dinamičnog karaktera prometnog sustava. Kroz kraći ili duži vremenski period kvantitativni i kvalitativni sastav prometnog toka podložan je promjenama. Konzistentnost prometnog toga polučuje zahtjeve prometne usluge iz sigurnosnog aspekta koje je sukladno promjenama prometnog toka potrebno učiniti dosljednima.

Implementacijom prometne opreme u obliku uspornika prometa u prometnu mrežu direktno se utječe na prometni tok vozila te ima značajan odraz u sigurnosti odvijanja prometnih procesa. U svrhu provođenja invazivne strategije upravljanja odnosno smirivanja prometa potrebno je provesti dodatna istraživanja i studije za svaku pojedinu lokaciju kako bi se specifikacije uspornika prometa mogle pravilno primijeniti na situaciju i parametre lokacije. Situaciji lokacijskog problema potrebno je pristupiti sustavno.

Pravilnim uvođenjem prometne opreme u prometne procese postiže se povećanje prometne sigurnosti svih sudionika koji sudjeluju u odvijanju prometnih procesa. Prometna oprema u obliku uspornika prometa povećanjem sigurnosti odvijanja prometa smanjuje broj prometnih nesreća i njihovu vjerojatnost odnosno rizik pojave.

Analiza sigurnosti pojedine lokacije u prometnoj mreži odvija se analizom parametara koji za pokazatelje imaju utjecaj opreme ili primijenjene strategije u tu svrhu. Neki od pokazatelja su produkti prometnih nesreća koje su se odvale na predmetnim lokacijama. Broj i karakter prometne nesreće sagledava se u vrsti koje mogu biti tipa:

- Bočni sudar,
- sudar vozila iz suprotnih smjerova,
- nalet na bicikl,
- nalet na pješaka,
- nalet na životinju,
- slijetanje vozila s ceste,
- sudar s motociklom/mopedom,
- sudar s željezničkim vozilom,

- udar vozila u objekt,
- udar vozila u parkirano vozilo,
- usporedna vožnja,
- vožnja u slijedu,
- vožnja unatrag i
- ostalo. [4]

Osim toga, prometna nesreća ima određene posljedice koje se mogu sagledavati kao:

- Materijalna šteta,
- lake tjelesne ozljede,
- teške tjelesne ozljede i
- smrtne posljedice. [4]

Prilikom sagledavanja uvjeta pod kojim se prometna nesreća odvila, najvažniji je tip kolnika odnosno njegovo stanje. Kolnik kako takav može biti suh, mokar ili neuređeni kolnički zastor u obliku makadama. Dok se okolnosti pod kojima prometna nesreća dogodila svrstavaju u skupine kako slijedi:

- Brzina neprimjerena uvjetima na cesti,
- naglo usporavanje/kočenje vozila,
- nekorištenje obilježenog pješačkog prijelaza,
- neočekivana pojava opasnosti na cesti,
- neosiguran teret na vozilu,
- nepoštivanje prednosti prolaska,
- nepoštivanje svjetlosnog znaka,
- nepropisna vožnja unatrag,
- nepropisno kretanje vozila po kolniku,
- nepropisno prestrojavanje,
- nepropisno pretjecanje,
- nepropisno skretanje,
- nepropisno uključivanje u promet,
- vožnja na nedovoljnoj udaljenosti,
- zakašnjela reakcija vozača i
- ostale greške vozača. [4]

U svrhu analize razine sigurnosti i opravdanosti postavljanja prometne opreme uspornika prometa proveden je uvid pojedinih lokacija grada Zagreba. U reprezentativni uzorak uzeto je 20 lokacija u gradu Zagrebu s različitim karakteristikama odvijanja prometnih procesa te su iste u okviru prometnih nesreća postavljene u određene aspekte sigurnosti. Lokacije obuhvaćene analizom su kako slijede:

- Ulica Janka Matka,
- Oreškovićeve ulica,
- Vinodolska ulica,
- Listopadska ulica,
- Ogulinska ulica,
- Nova cesta,
- Novi Petruševac,
- Ulica Antuna Šoljana,
- Jazbina,
- Kašinska cesta,
- Branovečka cesta,
- Sopnička ulica,
- Željeznička cesta,
- Koturaška ulica,
- Ulica Gjura Prejca,
- Samoborska cesta,
- Zapoljska ulica,
- Ulica kneza Borne i
- Ljubijska ulica.

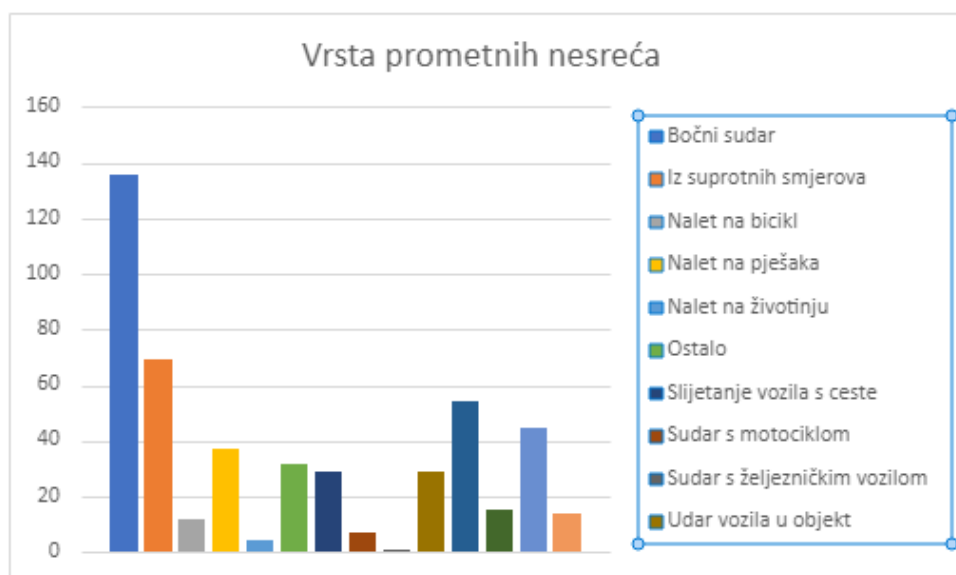
Uspornici prometa na navedenim lokacijama postavljeni su 2019. godine te se ista godina uzela kao referentna za daljnju analizu. U obzir analize uzete su prometne nesreće u vremenskom okviru tri godine prije i poslije referentne godine.

#### 4.1. Analiza sigurnosti prije postavljanja uspornika

Hipoteza smanjene prometne sigurnosti odvijanja prometnih procesa na lokaciji razlog je postavljanje prometne opreme uspornika prometa. Pristup postavljanju razine sigurnosti je vrsta prometnih nesreća koje su se dogodile na predmetnim lokacijama 2016., 2017. i 2018.

godine. Promatranim lokacijama tijekom vremenskog perioda od tri godine prije postavljanja opreme uspornika prometa dogodile su se ukupno 484 prometne nesreće. Svaka od tih nesreća ima za osobinu vrstu nastanaka prometne nesreće, posljedice koje su prometnom nesrećom ishodene, uvjetima pod kojima su se dogodile odnosno u kojem stanju je bio kolnik u trenutku odvijanja prometne nesreće na mjestu nastanka iste (suh ili sklizak) te okolnosti koje su pogodovale samom nastanku prometne nesreće.

Sljedećim prikazom grafikona (grafikon 2) uočljive su prometne nesreće koje su se odvile u reprezentativnom periodu te su iste svrstane u stupce koji simboliziraju vrstu pojedine prometne nesreće.

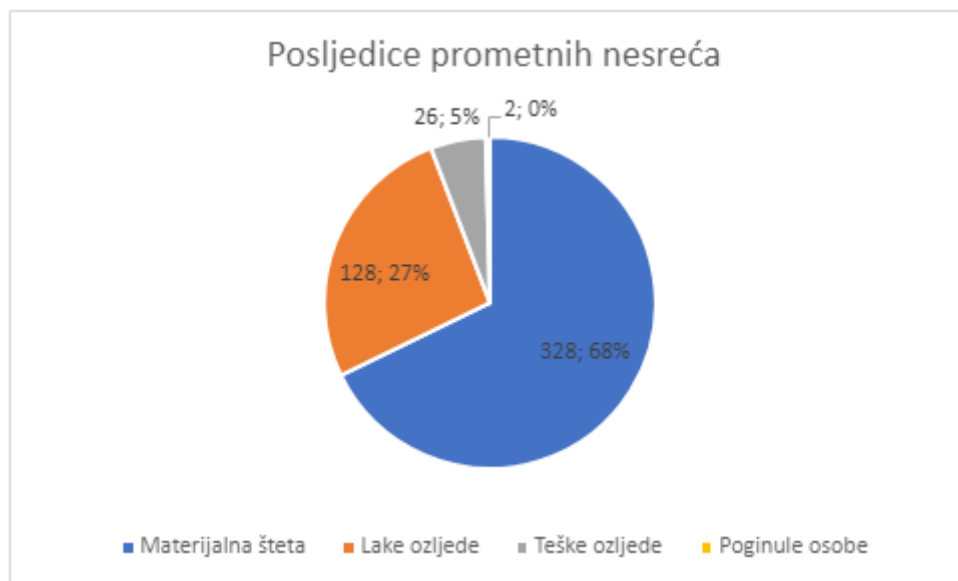


Grafikon 2: Vrsta prometnih nesreća

Najveći broj prometnih nesreća na lokacijama prouzročeno je bočnim sudarom i njihov broj iznosi 136. Nakon toga najveći udio prometnih nesreća prouzročeno je naletom vozila iz suprotnog smjera, njih 69, zatim slijetanje vozila s ceste, čiji broj prometnih nesreća iznosi 29. Najmanji broj prometnih nesreća prema vrsti, njih 4 dogodile su se naletom na životinju, 7 sudara s motociklom odnosno mopedom i jedna prometna nesreća vrste sudara sa željezničkim vozilom. [4]

Prometna nesreća osim vrsti, može se vrednovati prema posljedicama koje su produkt prometne nesreće. Prema posljedicama prometne nesreće moguće je odrediti težinu iste. Sukladno tomu, posljedice prometne nesreće mogu biti u obliku materijalne štete. Materijalna šteta dogodila se isključivo na vozilu/ima koja su sudjelovala u događaju te mogu biti manje ili

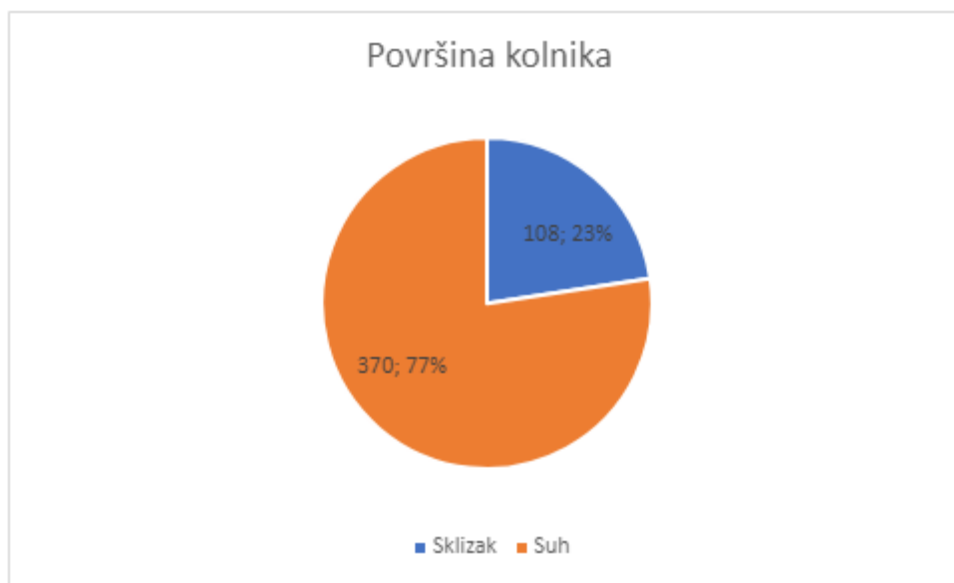
veće. Isto tako materijalna šteta može nastati na objektima na ili uz prometnicu gdje se prometna nesreća dogodila odnosno na prometnim znakovima, signalizaciji i prometnoj opremi. Manjom materijalnom štetom smatraju se oštećenja prilikom kojih nije došlo do oštećenja vitalnih dijelova vozila te se vozilo kao takvo može samostalno nastaviti kretati u prometu. Veća materijalna šteta kojom je vozilo uslijed prometne nesreće zahvaćeno zahtjeva intervenciju posebnih službi jer se kao takvo ne smije ili ne može uključivati u daljnje prometovanje zbog ugrožavanja sigurnosti ostalih sudionika prometa. Osim materijalne štete, prometna nesreća može imati posljedice po osobe koje su sudjelovale u istoj kao osobe koje su upravljale vozilom ili kao putnici. Posljedice koje prometna nesreće u takvom slučaju ostavlja na osobe mogu biti u obliku lakših i težih tjelesnih ozljeda. Lakša tjelesna ozljeda ogleda se u mehaničkim ozljedama na tijelu ozlijeđene osobe koje se mogu manifestirati kroz nelagodu ili bol. U pravilu, lakše tjelesne ozljede ne ostavljaju trajne posljedice, a obuhvaćaju primjerice podljeve krvi, ozljede koje su površinskog tipa i rane koje su u sudskoj medicini klasificirane kao lakšeg tipa. S druge strane teške tjelesne ozljede klasificirane su u više vrsta, ali zajedničke su im sve vrste prijeloma i oštećenja zdravlja kod kojih se mogu identificirati teže posljedice za tijelo i organizam. [8] Kao zasebna posljedica prometne nesreće gleda se prometna nesreća čiji događaj je polučio smrtni ishod. Prometna nesreća sa smrtnim ishodom smatra se ona u kojoj je poginula jedna ili više osoba. Sljedeći grafikon broj 3 prikazuje broj prometnih nesreća s obzirom na posljedice, a koje su se dogodile na predmetnim lokacijama tri godine prije referente, 2019. godine.



Grafikon 3: Posljedice prometnih nesreća

Na grafikonu je uočljivo kako najveći postotak od 68% prometnih nesreća zauzimaju posljedice u obliku materijalne štete. Broj prometnih nesreća koje su za posljedicu imale materijalnu štetu je 328. Nadalje, prometne nesreće koje su za posljedicu imale lakše tjelesne ozljede sudionika prometne nesreće zauzimaju udio u sveukupnom broju prometnih nesreća od 27%, a kako takvih bilo je njih 128. 5% udjela prometnih nesreća za posljedicu imaju teške tjelesne ozljede sudionika prometnih nesreća te je takvih prometnih nesreća bilo 26. Najmanji udio u sveukupnom broju prometnih nesreća zauzimaju one sa poginulim sobama, njih dvije. [4]

Na vrednovanje predispozicija za odvijanje nesretnog događaja prometne nesreće važan preduvjet ima stanje kolničkog zastora. Parametar kolničkog zastora može smanjiti ili povećati sigurnosti odvijanja prometnog procesa te na taj način uvjetovati kretanje vozila. veća vjerojatnost pojave prometne nesreće je veću ukoliko je kolnik, u ovom slučaju vlažan, a samim time i sklizak što značajno povećava rizik. Sljedeći grafikon (4) prikazuje broj prometnih nesreća koje su se dogodile u vremenskom periodu tri godine od one referente s obzirom na stanje kolničkog zastora po kojem se vozilo kretalo. [4]



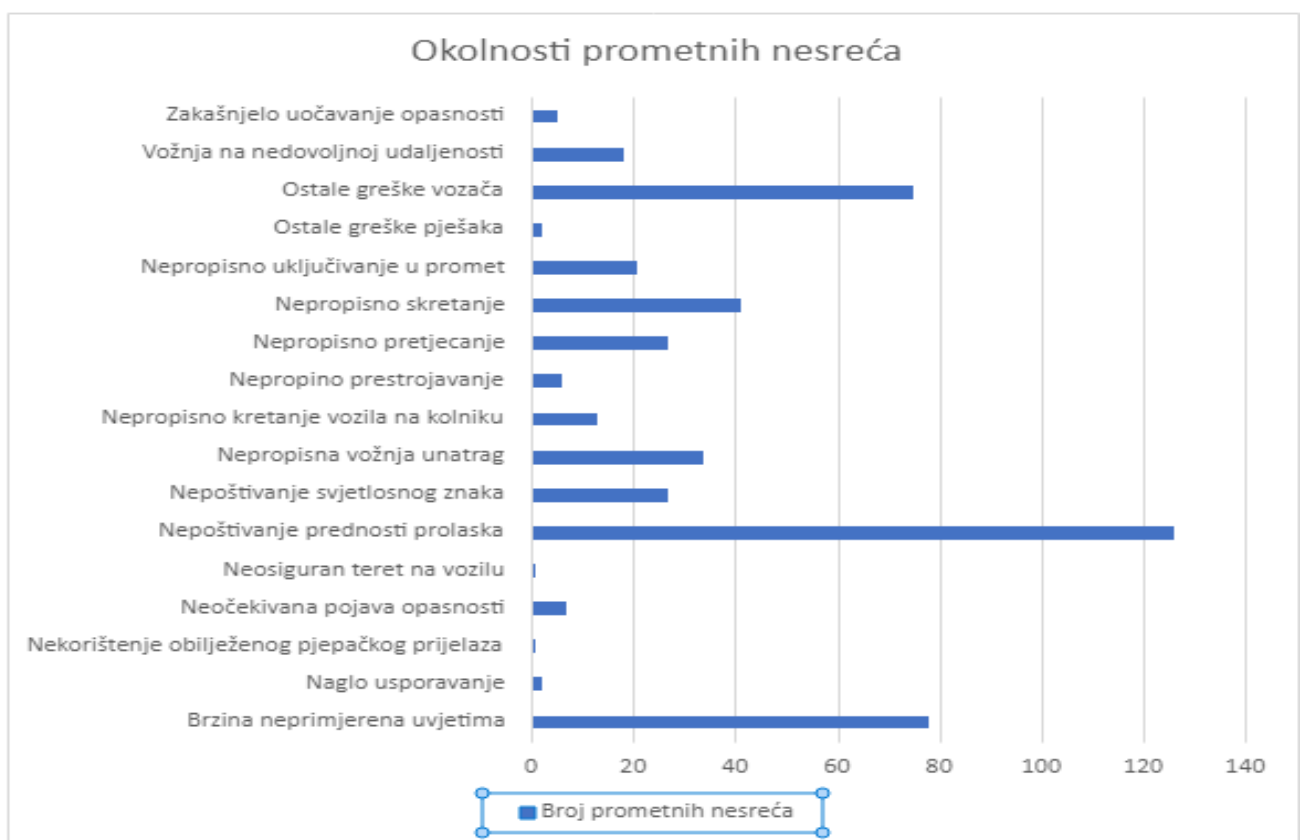
Grafikon 4: Stanje površine kolnika

Grafikonom je vidljiv prikaz prometnih nesreća čiji se veći broj odvio za vrijeme koje je kolnički zastor bio u suhom stanju i za vrijeme koje je imao optimalne uvjete za odvijanje prometa. 370 prometnih nesreća dogodilo se za vrijeme suhog stanja kolničkog zastora, što zauzima udio u cjelokupnom broju prometnih nesreća u promatranome razdoblju od 77%. Manji broj prometnih nesreća, njih 108, odvio se za vrijeme koje je kolnički zastor bio sklizak



te kao takav predstavljao veći rizik od pojave prometne nesreće. Udio koji zauzimaju prometne nesreće koje su se odvale za to vrijeme iznosi 23%. [4]

Osim po vrstama, posljedicama i uvjetima za nastanak nesretnog događaja prometne nesreće osigurane stanjem kolnika, vrednovanje same prometne nesreće može se provesti benevolentnim okolnostima koje su pogodovale nastanku prometne nesreće odnosno okolnosti pod kojim se ista i dogodila. Razloga za događaj prometne nesreće je nekoliko, a karakter im se razlikuje po putanji kretanja vozila i broju sudionika u događaju. Sljedeći grafikon (grafikon broj 5) prikazuje broj prometnih nesreća segregiranih po skupinama koje karakteriziraju zasebnu okolnost događaja.



Grafikon 5: Okolnosti prometnih nesreća

Iz grafikona je lako uočljivo kako je najveći broj nesreća prouzrokovan nepoštivanjem prometnih propisa. Najveći udio među okolnostima prometnih nesreća odnose prometne nesreće u kojima su osobe koje upravljaju vozilom skrivile nepoštivanjem prednosti prolaska. Neposredno na drugom mjestu nakon nepoštivanjem prednosti prolaska, kojim se prouzročeno 126 prometnih nesreća, je broj od 78 prometne nesreće koje su prouzrokovane brzinom koja nije bila primjerena uvjetima na cesti. Visoko mjesto na ljestvici po broju pojave prometnih

nesreća imaju nesreće koje su se dogodile pod okolnostima kao što su nepropisno skretanje, nepropisno pretjecanje, nepropisno uključivanje u promet i nepropisna vožnja unatrag.

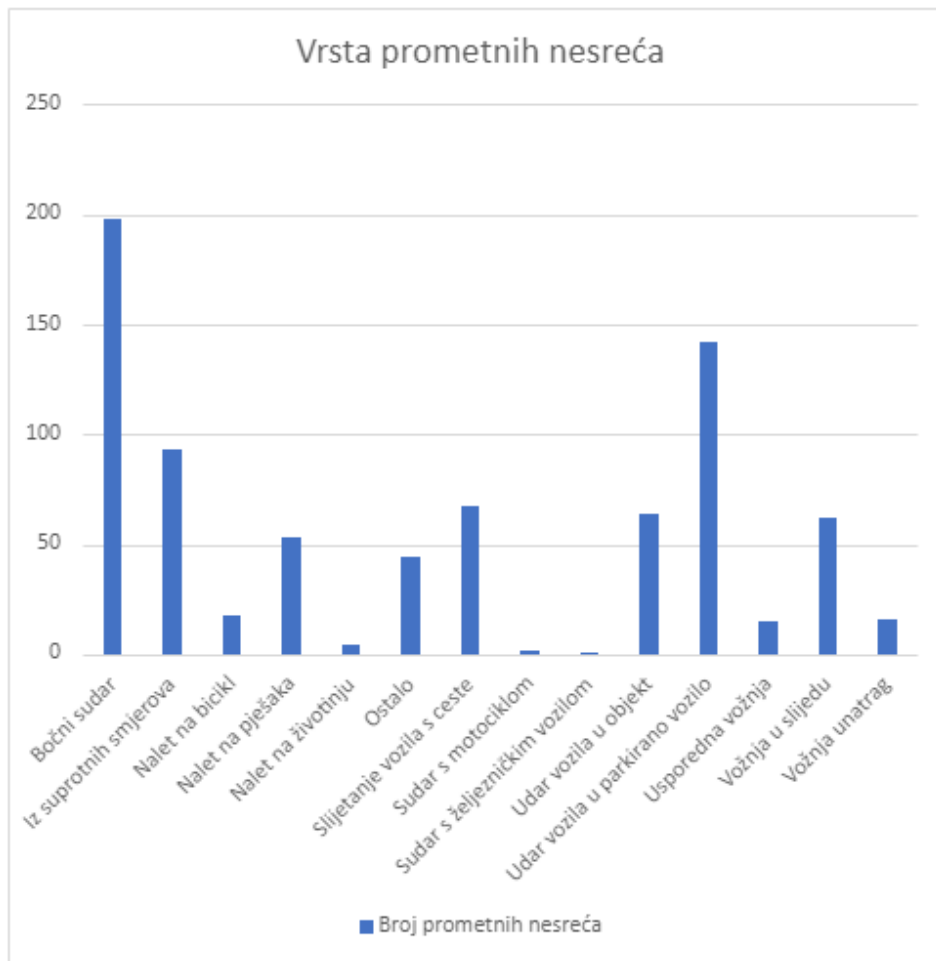
Prosječno u sveukupnom broju prometnih nesreća koje su se dogodile u trogodišnjem razdoblju prije referentne 2019. godine u prometnim nesrećama sudjelovala su dva vozila i to u 336 nesreća, dok je isključivo jedno vozilo bilo uključeno u 111 prometnih nesreća te tri vozila u 36 i četiri vozila u jednoj prometnoj nesreći. [4]

#### 4.2. Analiza sigurnosti nakon postavljanja uspornika

Kako bi se dobila opravdanost postavljanja prometne opreme uspornika prometa u svrhu analize učinkovitosti i uspostavu razine sigurnosti, nakon referentne godine postavljanja prometne opreme, 2019. Provedena je jednaka analiza kao i prije tog razdoblja. Dakle, analiza s obzirom na karakteristike pojave događaja prometnih nesreća razmatrana je u trogodišnjem vremenskom periodu 2020., 2021 i 2022. godine. Prometne nesreće nakon referentne godine također su sagledane u parametrima događaja prometne nesreće kao što su vrsta prometne nesreće, posljedice prometne nesreće, stanje površine kolničkog zastora i utjecaj istog na nastajanje događaja prometne nesreće odnosno okolnosti nastajanja iste.

U trogodišnjem razdoblju nakon referentne godine postavljanja prometne opreme uspornika prometa na istoimenim lokacijama u smislu mikroskopskog obuhvatnog područja dogodilo se 778 događaja prometnih nesreća. U usporedbi s trogodišnjim razdobljem prije referentne godine, prisutno je povećanje od 294 događaja prometne nesreće.

Sljedeći grafikon (grafikon broj 6) prikazuje sveukupne događaje prometnih nesreća koje su se dogodile u trogodišnjem razdoblju nakon referentne godine, a segregirane su po vrsti nastanka. Najveći udio u cjelokupnom broju prometnih nesreća zauzimaju prometne nesreće koje su po vrsti događaja nastale bočnim sudarom, čak njih 198. Odmah nakon toga 142 događaja prometne nesreće dogodile su se udarom vozila u parkirano vozilo, zatim sudar kolizija vozila suprotnih smjerova kretanja 93, udar vozila u objekt na cesti ili neposredno uz istu 64.

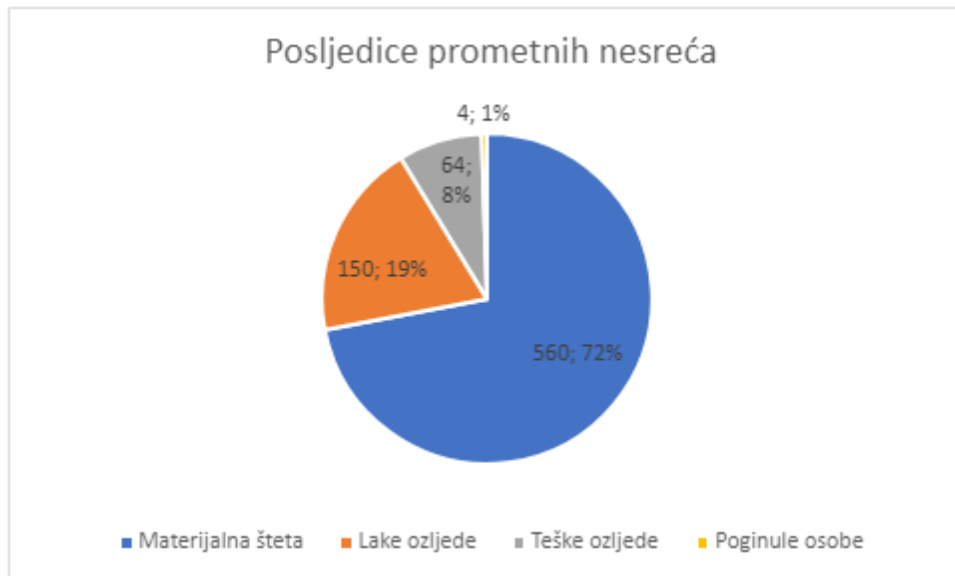


Grafikon 6: Vrsta prometnih nesreća

S obzirom na vrstu prometne nesreće trogodišnje razdoblje prije referentne godine ima 136 događaja prometnih nesreća koje su se odvale bočnim sudarom dok trogodišnje razdoblje nakon referentne godine ima povećanje od 62 nesreće istog tipa odnosno vrste. Vrsta događaja prometnih nesreća s obzirom na sudar vozila suprotnih smjerova ima za 24 događaja manje u trogodišnjem vremensko razdoblju prije referentne godine nego u trogodišnjem vremenskom razdoblju nakon referentne godine. Vrsta događaja prometnih nesreća s obzirom na nalet pješaka u trogodišnjem razdoblju prije referentne godine ima 16 događaja manje nego u trogodišnjem razdoblju nakon referentne godine.

Sljedeći grafikon (grafikon broj 7) prikazuje broj događaja prometnih nesreće odnosno njihov pojedinačan udio u cjelini s obzirom na posljedice. Posljedice događaja prometne nesreće odmjerene su u aspektu materijalne štete, lakih i teških tjelesnih ozljeda odnosno događajima prometnih nesreća sa smrtnim ishodom/poginulom osobom. Posljedice događaj prometnih nesreća koje su se dogodile u trogodišnjem razdoblju nakon referentne godine, njih 560 evidentirano je kao nastanak isključivo materijalne štete, što zauzima udio u cjelini od 72%.

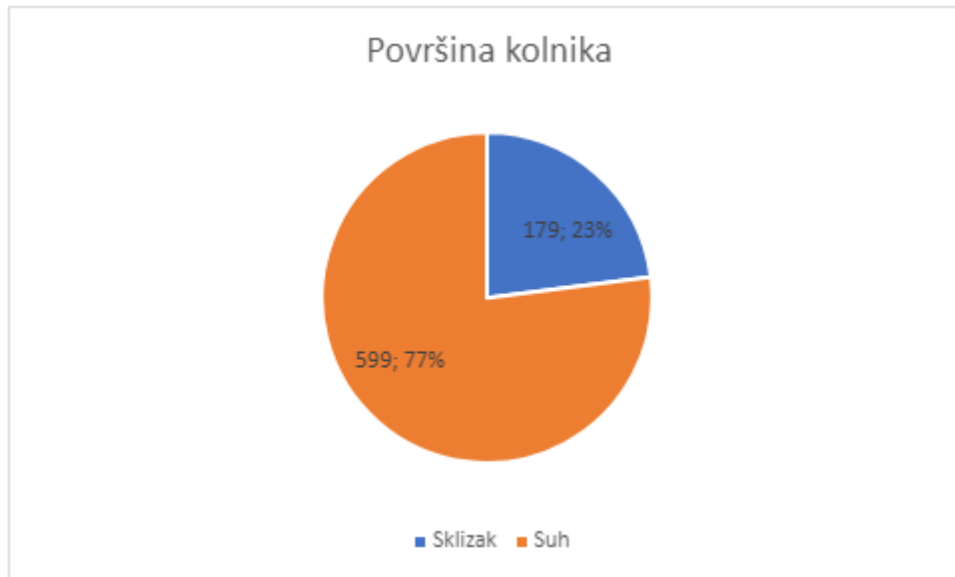
Broj događaja prometnih nesreća u obliku posljedica lakih tjelesnih ozljeda iznosi 150 što zauzima udio od 19%, dok broj prometnih nesreća čije su posljedice evidentirane kao teške tjelesne ozljede iznosi 64 odnosno 8% udjela. Broj događaja prometnih nesreća čije posljedice su rezultirale poginulim osobama iznosi 4. [4]



Grafikon 7: Posljedice prometnih nesreća

U usporedbi s trogodišnjim vremenskim razdobljem prije referentne godine u vremenskom razdoblju prisutan je porast od 232 događaja prometne nesreće koji su posljedicu imali u obliku materijalne štete. 22 događaja prometne nesreće je porast za vremensko razdoblje nakon referentne godine u usporedbi s razdobljem prije iste, a koje su za posljedicu imali lake tjelesne ozljede dok su kod posljedica sa smrtni ishodom zabilježene dvije prometne nesreće.

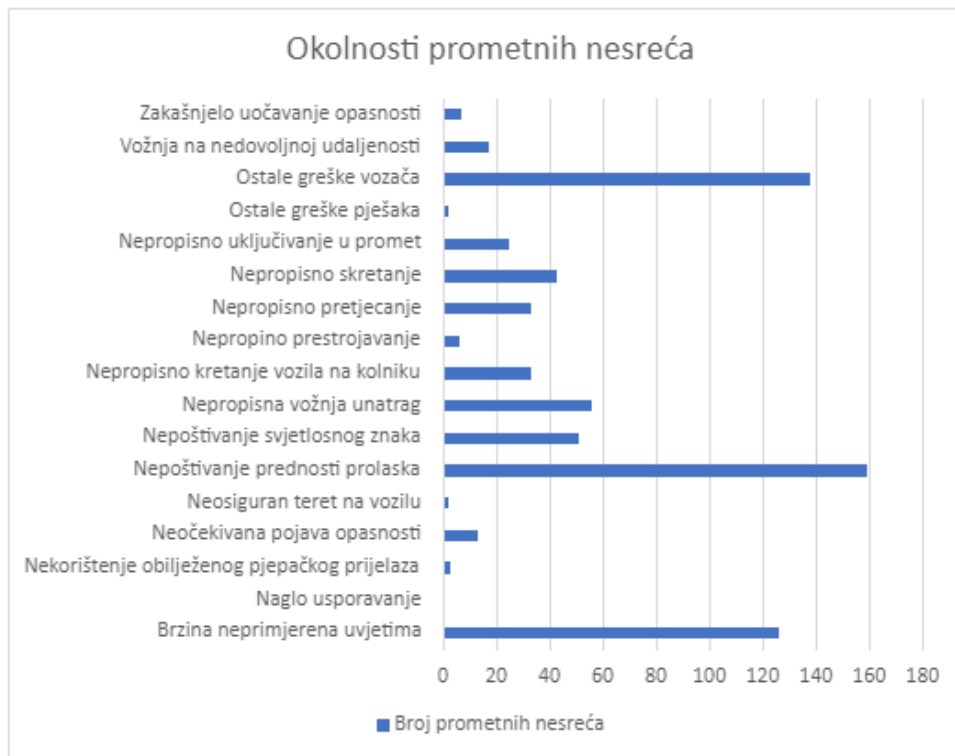
Grafikon broj 8 prikazuje omjer odnosno broj događaja prometnih nesreća koje su se odvale u trogodišnjem vremenskom razdoblju nakon referentne godine s obzirom na stanje kolničkog zastora. 179 događaja prometnih nesreća odvijalo se za vrijeme koje je kolnik bio sklizak te je kao takav pogodovao povećanom riziku nastanka nesretnog događaja, što u cjelini zauzima udjel od 23%. Veći udio događaja prometnih nesreća u istom razdoblju na istoimenim lokacijama od 77% zauzimaju nesreće koje su se odvijale za vrijeme suhog stanja kolničkog zastora te sami evidentirani broj prometnih nesreća 599. [4]



Grafikon 8: Stanje površine kolničkog zastora

Uzimajući u obzir kako je prethodno trogodišnjem razdoblje, prije referentne godine za vrijeme suhog stanja kolnika imalo evidentirano 370, a za vrijeme skliskog stanja kolnika 108 događaja prometnih nesreće, u trogodišnjem razdoblju to je povećanje za 71 nesreću za vrijeme skliskog stanja kolnika i 229 događaja prometnih nesreća koji su se odvijali za vrijeme suhog stanja kolnika. [4]

S obzirom na okolnosti pri kojima su događaji prometnih nesreća nastali, njihov odnos i brojnost prikazuje sljedeći grafikon broj 9 za trogodišnje razdoblje nakon referentne godine. Za razdoblje nakon referentne godine zabilježen je najveći broj događaja prometnih nesreća koji su se dogodili pod okolnostima kao što su nepoštivanje prednosti prolaska čija brojnost pojave iznosi 159 događaja, brzina neprimjerena uvjetima na cesti čiji broj iznosi 126, odnosno nepropisna vožnja unatrag (56) i nepoštivanje svjetlosnog signala (51). [4]



Grafikon 9: Okolnosti prometnih nesreća

U usporedbi s trogodišnjim razdobljem prije referentne godine za okolnosti trogodišnjeg razdoblja nakon referentne godine poput brzine neprimjerene uvjetima na cesti to je povećanje reda veličine od 48 događaja prometne nesreće, za nepoštivanje prednosti prolaska prisutno je povećanje od 33 događaja prometne nesreće, dok je za okolnost nepropisne vožnje unatrag evidentno povećanje od 22 događaja prometnih nesreća. [4]

## 5. UTJECAJ OPREME ZA SMIRIVANJE PROMETA NA DINAMIKU KRETANJA VOZILA PRI RAZLIČITIM BRZINAMA.

Utjecaj opreme čija je zadaća doprinijeti sigurnosti prometa podižući je na veću razinu ima različit utjecaj na samo tijelo odnosno vozilo, a ovisno o vrsti uspornika. Postavljanje uspornika temelji se na detaljnim studijama, analizama i iskustvenim radom koji je potvrđen praksom. Ovisno o predmetnoj lokaciji na kojoj postoje zadovoljeni kriteriji postavljanja prometne opreme te zahtjev za udovoljavanje problema prometne situacije, personalizira se izvedba sama implementacija opreme kao i vrsta iste. S jedne strane postoje kriteriji lokacije koji uvjetuju specifikaciju opreme koja će se postaviti dok s druge postoje kriteriji prilikom odabira odgovarajuće prometne opreme zbog svog utjecaja na promet vozila. Zadovoljavanjem svih kriterija primjenjuje se odgovarajuća strategija za pojedinu lokaciju.

Različit utjecaj opreme isto tako može biti u međuovisnosti uspornika kao prometne opreme i karakteristika vozila koja se koriste istom prilikom obavljanja prometnog procesa. Isti oblik prometne opreme sa stalnim karakteristikama koja je primijenjena uz odgovarajuće uvjete i strategije utječe različito na vozila ovisno o njihovom tipu. Razliku utjecaja na vozila potrebno je dovesti na minimum kako bi se zadovoljila dosljednost pružene prometne usluge u svim segmentima kvalitete.

Osim toga, način na koji je vozilo upravljano može polučiti različite rezultate utjecaja uspornika na samo kretanje vozila. Samim time, primijenjena strategija temeljem koje je prometna oprema u obliku uspornika prometa implementirana u prometni sustav može rezultirati kontraproduktivnošću i zapravo povećati rizik od pojave uzroka nastanka prometne nesreće narušavajući sigurnost odvijanja prometnih procesa.

Jedan od ključnih parametara koji može utjecati na vožnju i dinamiku kretanja vozila je brzina kretanja istog. Pri različitim brzinama kretanja vozila dolazi do pojave sila u različitim razmjerima kojima su uvjetovana uzročno-posljedične veze. Sile koje utječu na vozilo prenose se prvenstveno na karoseriju vozila i uvjetuju njegovu upravljivost i kretanje. Nadalje, sile djeluju na putnike koji se nalaze unutar vozila na samu osobu koja upravlja vozilom te direktno uvjetuje razinu sigurnosti putnika unutar vozila. Na taj način samo upravljane vozila, sudjelovanjem i odvijanje time prometnog procesa ima direktan utjecaj na sve čimbenike prometa. Posljedice upravljanja vozila prelaskom preko uspornika različitim brzinama u obliku sila koje su utjecale na nastanak specifičnog gibanja prikazane su simulacijskim alatom PC-Crash.

PC Crash je programski softver koji je u mogućnosti simulirati rekonstruirati i analizirati događaj prometne nesreće. Simulacije je moguće provoditi u dvije dimenzije, 2D i 3D. Slika x prikazuje vozilo i objekt u trodimenzionalnom prostoru softverskog programa PC Crash-a. Moguće je simulirati sve događaje koji su se dogodili u interakciji automobila, motocikla, pješaka, kretanje putnika i njihovo prevrtanje. Unutar samog simulacijskog programa omogućen je pristup velikom broju podataka vozila, no ukoliko je to nije dovoljno, moguće je konstruirati i izraditi posebno vozilo. Integrirani program za crtanje omogućuje korisniku da dizajnira skice scena u koje se unaprijed mogu učitati i definirati cestovni objekti u dvije dimenzije. U isto vrijeme tijekom provođenja simulacije, korisnik je u mogućnosti vidjeti proračune uz pomoćne animacije na zaslonu. [9]

Benevolentni učinci programa iskorišteni su za simulaciju prelaska vozila preko opreme uspornika prometa. Provedbom simulacije cilj je dobiti sile koje utječu na vozilo te direktno uvjetuju dinamiku kretanja istog. Dobivenim silama moguće je odrediti ponašanje uspornika odnosno razumijevanjem manifestacije opreme moguće je dizajnirati i prilagoditi potrebne parametre specifičnoj situaciji primjene.

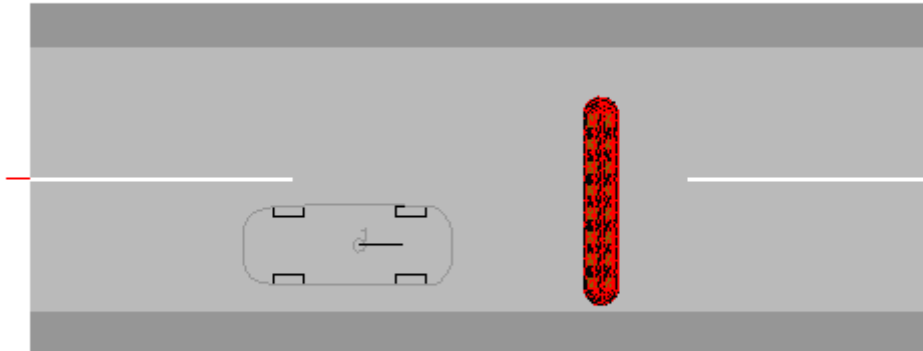
Sile prouzrokovane prelaskom vozila preko uspornika prometa osim što direktno uvjetuju kretanje vozila čime pomiču razinu sigurnosti, isto tako utječu na performanse vozila koje se ogledaju u njegovoj eksploatacijskoj moći. Eksploatacijska moć vozila nadalje uvjetuje operabilnost vozila u cjelini te na taj način doprinosi prvenstveno utjecaju na sigurnost u sudjelovanju odvijanja prometnih procesa.

U simuliranoj situaciji prelaska vozila preko uspornika prometa sudjelovalo je vozilo tipa VW Passat 1.6 TDI 2015. Godišta. Masa vozila iznosi 1474 kilograma. Kako bi se odredio red veličina utjecaja sila prouzrokovano prometnom opremom uspornika prometa, provedene su tri simulacije s obzirom na brzinu kretanja samog vozila. Relevantne brzine odabrane su kao 30, 40 i 50 km/h kao najčešćim u skladu s Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.

Vozilo je postavljeno u prostor na način da prisvojenom konstantnom brzinom prođe uspornik prometa. Kako bi se simulacija bila što bliža stvarnom odvijanju događaja te kako bi se dobile dosljedne izmjere, sva četiri kotača vozila prešla su preko opreme uspornika prometa. Vozilo koje je sudjelovalo simulaciji događaj prelaska vozila preko uspornika je tipa vw Passat 1.6 TDI 2015. godišta. Vozilo tijekom izvođenja simulacije nije usporavalo, već se kretalo spomenutom primjerenom brzinom za prelazak prometne opreme usvojene pravilnikom.



Oprema uspornika prometa postavljena je poprečno u odnosu na vozilo u pokretu pod kutom od 90 stupnjeva. Tijekom provedbe simulacija nije došlo do proklizavanja ili prevrtanje vozila. Prikaz odnosa vozila i opreme kao objekata koji su sudjelovali u simulaciji softverskim programom prikazano je sljedećom slikom broj 19.



Slika 19: Odnos rasporeda objekata unutar simulacije

Izvor: [4]

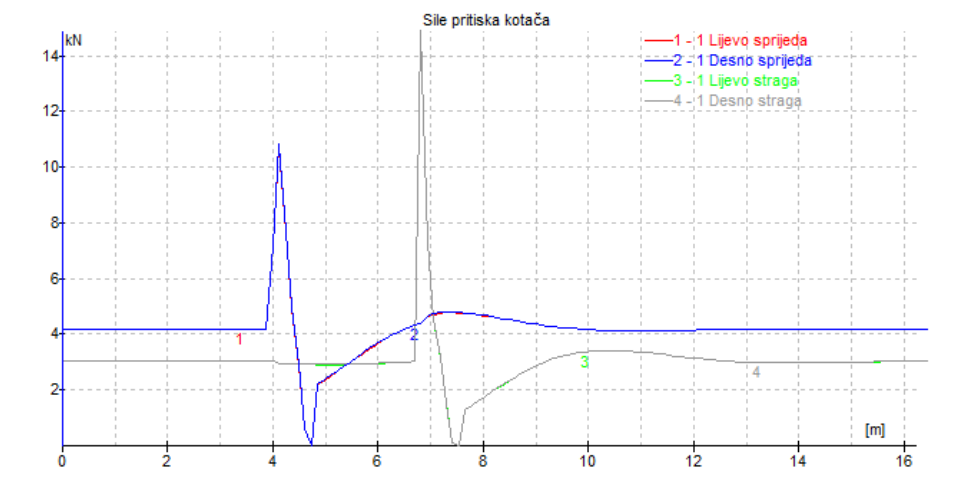
Raspored objekata je dosljedan stvarnoj situaciji kao i sam prilaz i kretanje vozila tijekom odvijanja simulacijskog procesa.

#### 5.1. Utjecaj uspornika prometa na vozilo pri brzini od 30 km/h

Prema Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama najmanja optimalna brzina prelaska vozila preko opreme uspornika prometa je 30 km/h. Pri brzini od 30 km/h zagarantirana je maksimalna sigurnost korištenje prometne opreme uspornika prometa te najmanji mogući ostvariv utjecaj uspornika prometa na vozilo i putnike unutar njega.

Provedenom simulacijom dobivene su sile prouzrokovane prelaskom preko uspornika prometa, a odrazile su se na kotače vozila koji su kako dio vozila prvi stupili u kontakt s prometnom opremom. Sile pritiska koje su utjecale na kotače vozila, a putem istih prenijeli dalje na ostatak vozila vidljivi su na grafikonu 10. Može se vidjeti kako su veći udar sile pritiska na kotače primili kotači stražnjeg dijela vozila čija je vrijednost iznosila do 14,5 kN. Manju silu

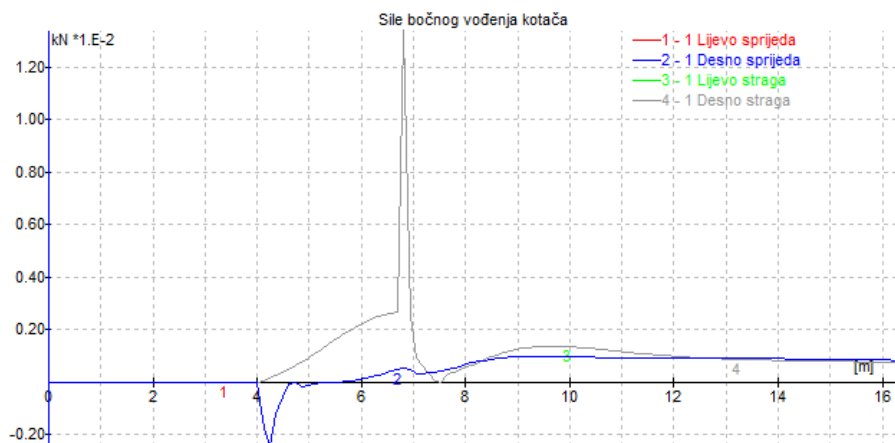
pritiska na kotače primili su kotači prednjeg dijela vozila čija sila je dosegala 10,5 kN. Prije udarnog opterećenja sile pritiska na kotače vozila, koji su vidljivi naglim skokovima linije grafikona, vidljive su sile pritiska na kotače vozila u iznosima od 4 kN za prednje kotače vozila dok je ista veličina za stražnje kotače vozila iznosila 2,5 kN. Nakon udarnog opterećenja zabilježen je nagli pad linije grafikona što ukazuje na ekstremno rasterećenje odnosno propadanje prednjih i stražnjih kotača vozila kako isto silazi sa vise postavljenog uspornika prometa te vrijednost sile pritiska na kotače iznosi 0 kN.



Grafikon 10: Sila pritiska na kotače vozila

Izvor: [4]

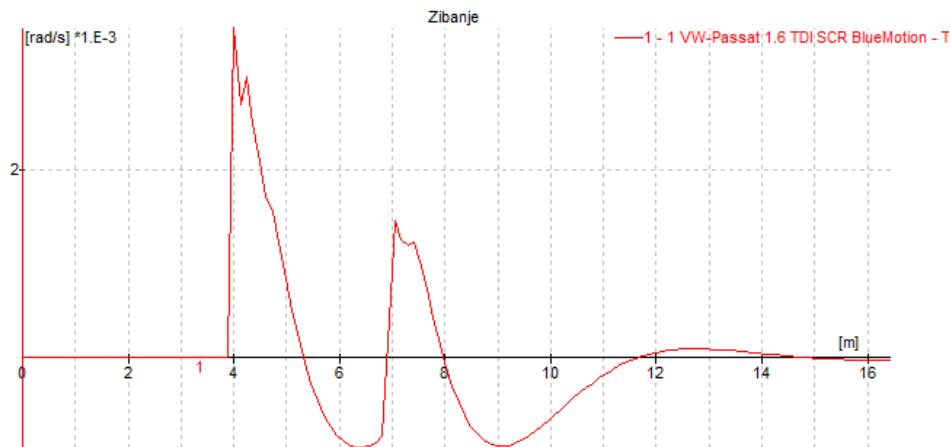
Daljnijim mjerenjima zabilježene su sile bočnog vođenja kotača vozila prilikom prelaska preko opreme uspornika prometa. Za razliku sile pritiska čije je djelovanje silnicama poravnato s putanjom kretanja vozila, sile bočnog vođenja poprečnog su usmjerenja. Takve sile najčešće se javljaju prilikom vozila koje je u zavoju. Vozilo koje se kreće kroz zavoj pomoću sile bočnog vođenja na kotačima odupire se centrifugalnoj sili koja nastoji vozilo izbaciti s putanje njegova kretanja. Kako je prikazano slikom 11 sile bočnog vođenja prisutne su kao veće na kotačima stražnjeg dijela vozila dok su iste sile na kotačima prednjeg dijela vozila značajno manje. Sile bočnog vođenja kotača na kotačima prednjeg dijela vozila jednim dijelom prelaze u vrijednosti negativnog predznaka, pri samom početku anomalija grafikona. Linija grafikona prije ikakvog podražaja vozila s obzirom na putanju kretanja istog nove nultu, neutralnu vrijednost, dok se vrijednosti nakon podražaja razlikuju od apscise koja ima nultu vrijednost to jest imaju pozitivne vrijednosti tijekom nastavka kretanja.



Grafikon 11: Sile bočnog vođenja kotača vozila

Izvor: [4]

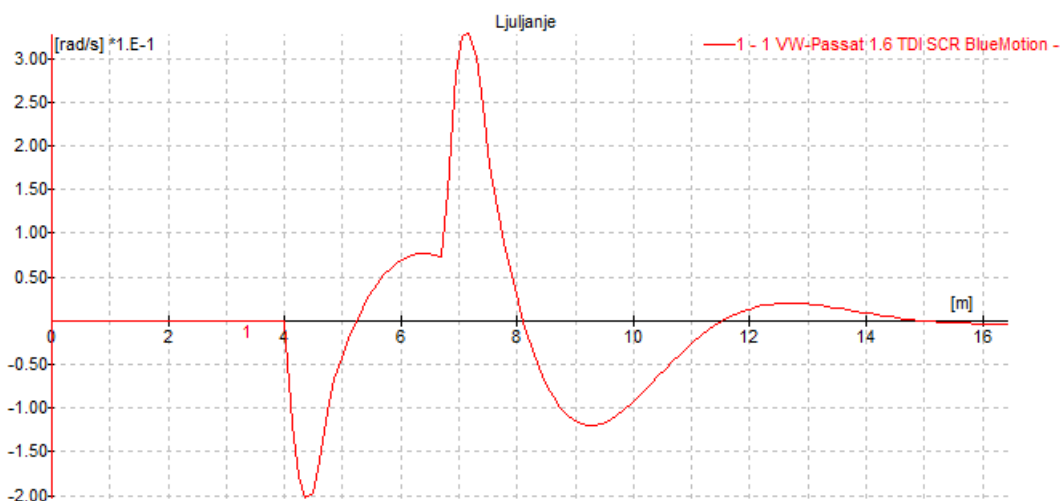
Sile pritiska na kotače i sile bočnog vođenja utječu direktno na zadržavanje ili promjenu putanja gibanja vozila, ovisno o kutu njihova djelovanja. Sile kao takve osim što se prenose na vozilo i uvjetuju samu dinamiku kretanja vozila prenose se i na osobu koja upravlja vozilom odnosno na putnike u vozilu. Sile koje se prenose i djeluju na putnike unutar vozila isto tako uvjetuju njihovu sigurnost. Sile prenijete na vozilu tijekom njegova kretanja putnici doživljavaju kao zibanje i ljuljanje. Vjerojatnost ozljeđivanja putnika može ovisiti o njihovom položaju u samome vozilu, tipu vozila i silama odnosno u kojoj mjeri iste utječu na vozilo u kretanju. Zibanje zabilježeno tijekom simulacije (prikazano slikom 12) prelaska vozila tijekom prelaska prometne opreme uspornika prometa u početku ima neutralnu, nultu vrijednost. Nakon podražaja vrijednost zibanja naglo raste preko 2,5 radijana po sekundi te po postignutom vrhuncu slijedi nešto blaži pad u negativnu vrijednost od 1 radijana po sekundi. Vozilo prelaskom prve osovine preko uspornika prometa postiže veće vrijednosti dok prelaskom druge osovine te iste vrijednosti, usprkos jednakom ponašanju, ovoga puta su manjeg intenziteta. Nakon prelaska 14. Metra zibanje vozila se stabilizira odnosno bliži početnom neutralnom stanju.



Grafikon 12: Zibanje vozila

Izvor: [4]

Osim zibanja, provedenom simulacijom prelaska vozila preko opreme uspornika prometa zabilježeno je ljuljanje. Prije podražaja ljuljanje vozila je neutralne vrijednosti. u trenutku kada je došlo do podražaja vrijednost ljuljanja prelazi u negativnu vrijednost od  $-2$  radijana po sekundi nakon čega se blagim rastom vraća prema nuli i doseže pozitivnu vrijednost od  $3,5$  radijana po sekundi. Nakon dva ekstremna skoka linije grafikona, ista se premda još sedam metara prijednog puta poprima pozitivne i negativne vrijednosti dovodi u referentni položaj s neutralnom vrijednošću. Vrijednosti ljuljanja na temelju provedene simulacije prikazana su sljedećim grafikonom broj 13.



Grafikon 13: Ljuljanje vozila

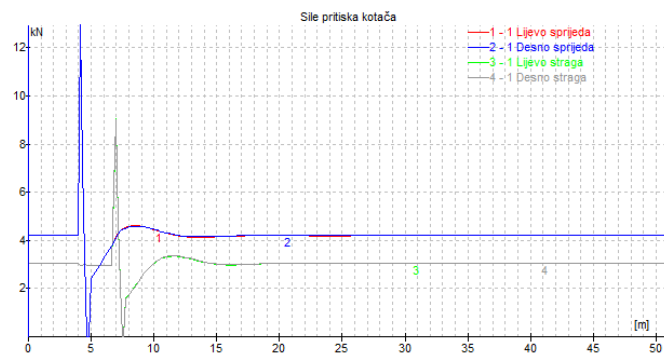
Izvor: [4]

## 5.2. Utjecaj uspornika prometa na vozilo pri brzini od 40 km/h

Ukoliko vozilo preko uspornika prometa prelazi brzinom od 40 km/h, u sklad s ograničenjima ustanovljenima pravilnikom, prelazi onom prosječnom. Karakteristike prometne opreme uspornika prometa iskazane su kroz ograničenje brzine naznačeno prije istog. Naznačena brzina prelaska je granična pri kojoj je još uvijek prisutan najmanji moguću negativan utjecaj uspornika na komponente vozila. Pri toj brzini još uvijek je osigurana sigurnost upravljanja vozilom.

Simulacija je provedena pod istim uvjetima uz jedan promijenjeni parametar, brzinu kretanja samog vozila. Brzina kretanja vozila u ovoj iteraciji je povećana za 10 km/h odnosno sa 30 km/h na 40 km/h. Odnosi objekata unutar kreiranja situacije simulacije je ostao jednak. Vozilo se nalazi ispred uspornika, a uspornik je postavljen poprečno na putanju kretanja samog vozila. Vozilo tijekom provedbe simulacije prelazi sa sva četiri kotača preko opreme uspornika prometa.

Provedenom simulacijom dobivene su izmjere redova veličina sila pritiska na sva četiri kotača vozila. Sljedeći grafikon broj 14 prikazuje sile koje prouzrokovane prelaskom vozila preko uspornika prometa, a pri kretanju odnosno kontaktom pneumatika i opreme uspornika prometa. Prednji kotači vozila primili su veću silu pritiska od stražnjih. Veliki porast sile pritiska na lijevi i desni kotač prednje osovine dogodio se prilikom četvrtog metra prelaska vozila koji je iznosio razliku veću od 8 kN. Nakon drastičnog porasta sile pritiska dogodio se nagli pad koji je istu vrijednost izjednačio s nulom. Pad vrijednosti sile pritiska na kotače iznosio je više od 12 kN. Nakon porasta i pada sila pritiska na lijevi i desni kotač prednje osovine sama sila pritiska stabilizacijom vratila se u početno stanje koje je imala prije prilaskom prometnoj opremi uspornika prometa u približnoj vrijednosti od 4 kN.

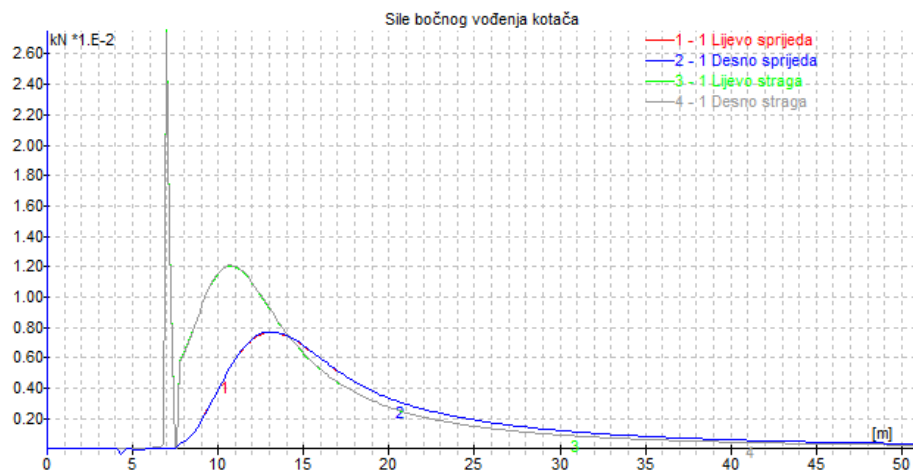


Grafikon 14: Sila pritiska na kotače

Izvor: [4]

Sile pritiska lijevog i desnog kotača stražnje osovine primili su sile koje su manjeg intenziteta od sila koje su primili lijevi i desni kotač prednje osovine. Iznosi kao takvi kretali su se u vrijednostima između vrijednosti 0 kN i 9 kN. Sile koje su se pojavile na kotačima prednje i stražnje osovine na grafikonu su prikazani kratkim odmakom zbog međusobne udaljenosti prednje i stražnje osovine vozila. Što je brzina prelaska vozila preko umjetne izbočine veća to je vrijeme odaziva na prednjoj i stražnjoj osovini kraće.

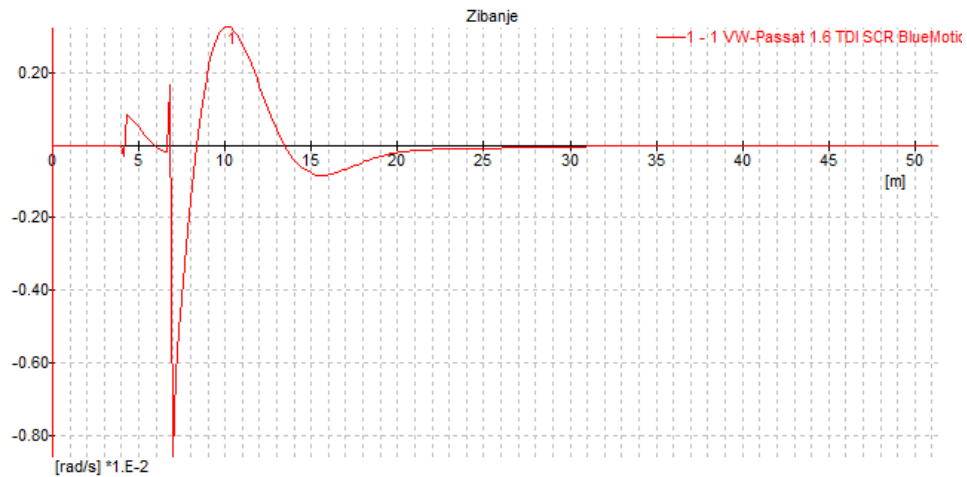
Na kotačima vozila isto tako izmjerene su i sile bočnog vođenja koje uvjetuju stabilnosti kretanja i zadržavanje putanje kretanja istog. Izmjerene sile bočnog vođenja kotača prednjih i stražnjih osovina pokazale su najveću vrijednost na lijevom i desnom kotaču stražnje osovine. Sila bočnog vođenja na kotačima stražnje osovine vozila dosegla je iznos od preko 2,60 kN. Kako je prikazano grafikonom 15 zabilježen je malo veći porast sila na kotačima obje osovine, prednje i stražnje, u iznosu od 1,20 kN – 0,80 kN nakon čega slijedi stabilizacija utjecaja sila bočnog vođenja kotača vozila.



Grafikon 15: Sile bočnog vođenja kotača vozila

Izvor: [4]

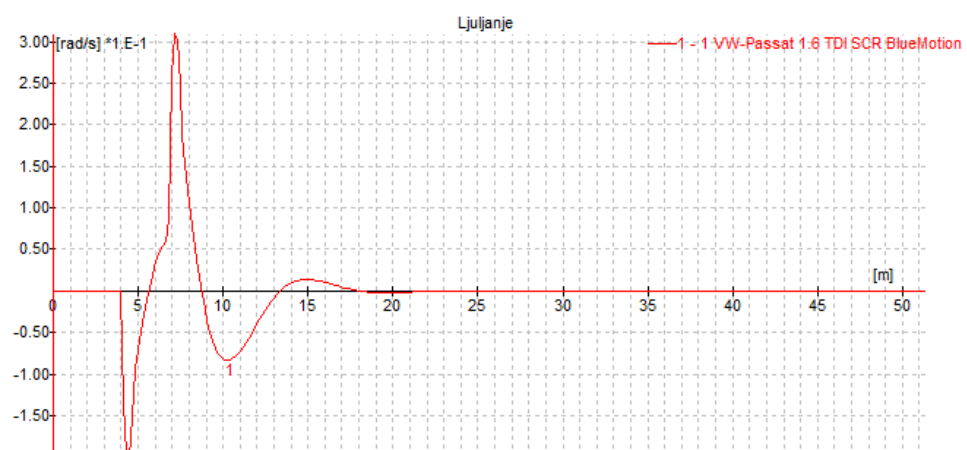
Provedbom simulacije dobivene su vrijednosti značajne za zadržavanje upravljivosti vozila i sigurnost putnik unutar njega. Prelazak vozila preko opreme uspornika prometa najviše se ogleda u izmijenjenim silama. Sile prouzrokuju specifično gibanje vozila kroz zibanje. Izmjereno zibanje prelaskom vozila preko uspornika prometa poprimilo je ekstremne razmjere u sedmom metru gibanja vozila te je vrijednost kao takva poprimila iznos od preko  $-0,80$  radijana po sekundi. Nakon porasta vrijednosti zibanje je poprimilo pozitivnu vrijednost nakon čega se isto stabiliziralo u 30. metru putovanja vozila vratilo u neutralnu vrijednost. Zibanje vozila prikazano je sljedećim grafikonom 16.



Grafikon 16: Zibanje vozila

Izvor: [4]

Dijagram ljuljanja prikazan je na sljedećem grafikonu broj 17. Vrijednosti koje ovaj dijagram poprima pri kretanju vozila preko opreme uspornika prometa brzinom od 40 km/h do podražaja ima neutralnu vrijednost. Nakon podražaja, u trenutku kada je vozilo odnosno kada su pneumatici vozila stupili u kontakt s opremom uspornika prometa na kolničkom zastoru vrijednost ljuljanja dobila je otklon od preko -1,50 radijana po sekundi. Veći otklon vrijednosti ljuljanja se dogodio u 5,5 metru kretanja vozila kada je ista poprimila iznos od preko 3 radijana po sekundi. Nakon dva ekstremna otklona vrijednosti dogodio se manji u negativnom smjeru po čemu je uslijedila stabilizacija ljuljanja vozila, a samim time i smanjenje rizika od pojave opasnosti.



Grafikon 17: Ljuljanje vozila

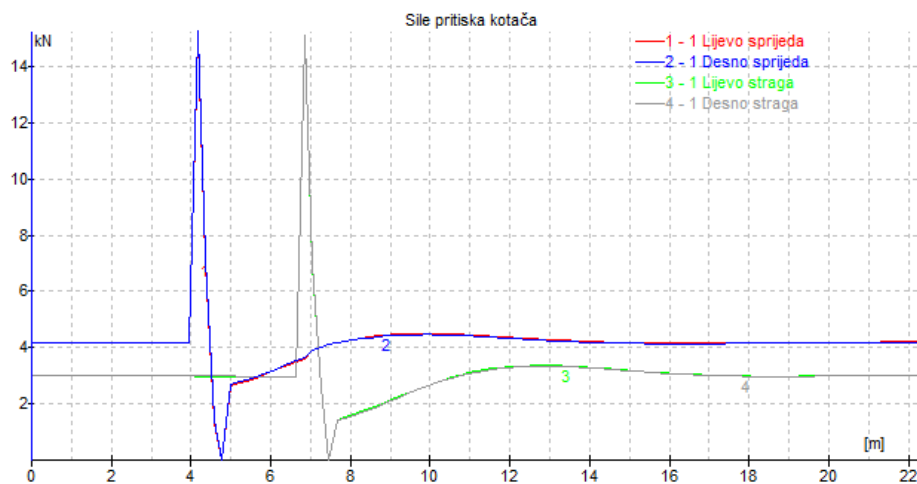
Izvor: [4]

### 5.3. Utjecaj uspornika prometa na vozilo pri brzini od 50 km/h

Najveća brzina prelaska vozila preko opreme uspornika prometa koja je uvjetovana ograničenjem usvojeno Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizacijom i opremi na cestama je brzina od 50 km/h. Uspornici ovakvog tipa najčešće u vrhu propuštanja vozila većom brzinom prelaska imaju blaže postavljene parametre s puno većom stopom menevarabilnosti.

U svrhu utjecaja parametara vozila koja vozilima pružaju prelazak brzinom 50 km/h napravljena je simulacija. Objekti u simulaciji postavljeni su jednakom odnosu kao u prethodne dvije te se jedini promijenjeni parametar ogledao u brzini prelaska vozila preko uspornika prometa koja je povećana za 10 km/h.

Iznosi sila koje su prilikom prelaska vozila preko opreme uspornika prometa imale utjecaj na lijeve i desne kotače prednje i stražnje osovine dosezale su isti ekstrem u iznosu vrijednosti od preko 14kN (Prikazano grafikonom 18). Veće povećanje sila pritiska kotača je zabilježeno na kotačima stražnje osovine, za 0,5 kN više. Nakon dosezanja ekstrema pojedine osovine vozila, sile pritiska na kotače proporcionalno se stabiliziraju i dovode u početni položaj. Iznosi vrijednosti početnog i završnog položaja sila pritiska na kotačima iznosi 4 kN za lijeve i desne kotače prednje osovine odnosno 2,5 kN za kotače osovine stražnjeg dijela vozila.



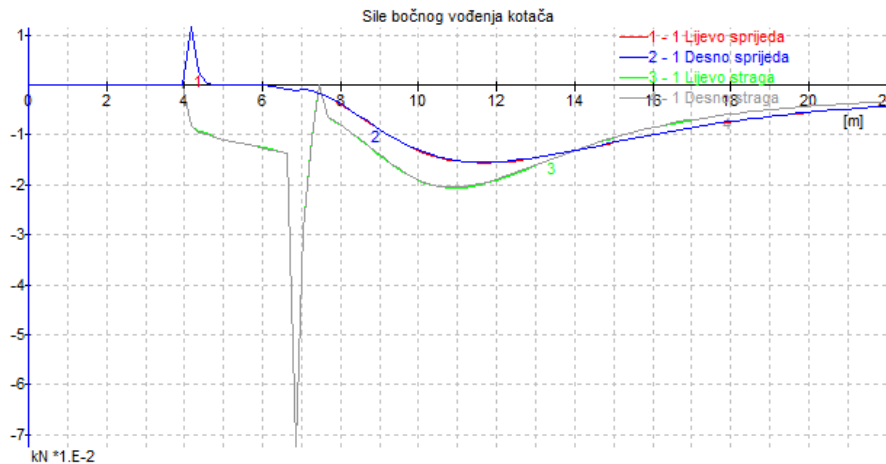
Grafikon 18: Sile pritiska na kotače vozila

Izvor: [4]

Provedbom simulacije primijenjenom povećanom brzinom od 50 km/h evidentirane su sile bočnog vođenja kotača kao što su prikazane grafikonom 19. Sile bočnog vođenja kotača koje su se pojavile prelaskom vozila preko uspornika prometa najviše su utjecale na kotače



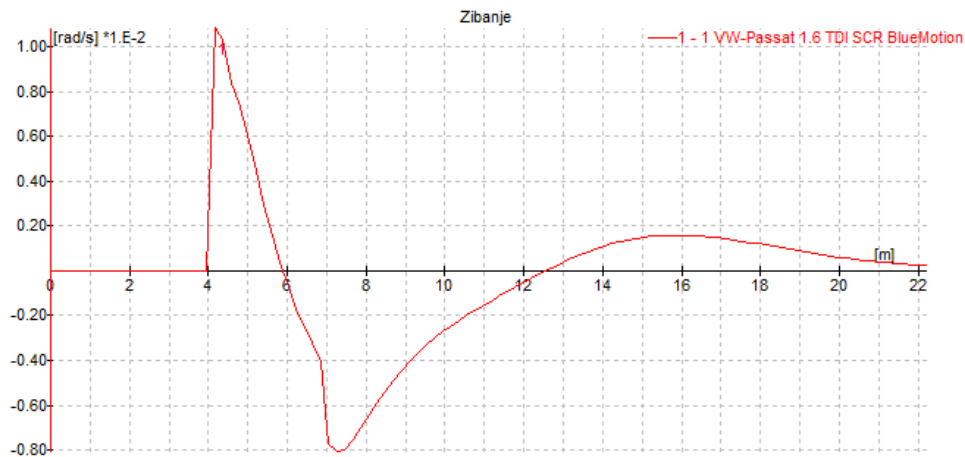
osovine stražnjeg dijela vozila. Nakon 6,5 metara koje je vozilo prešlo, u mjerenjima sila na grafikonu se zabilježio ekstrem čija vrijednost iznosi preko  $-7$  kN. Druga blaža povišena vrijednost sila bočnog vođenja kotača, kako prednje tako i stražnje osovine dogodila se po prelasku 11. metra. Kotači prednje osovine zabilježili su porast sile bočnog vođenja na 4,2 metra čija je vrijednost bila pozitivna.



Grafikon 19: Sile bočnog vođenja kotača

Izvor: [4]

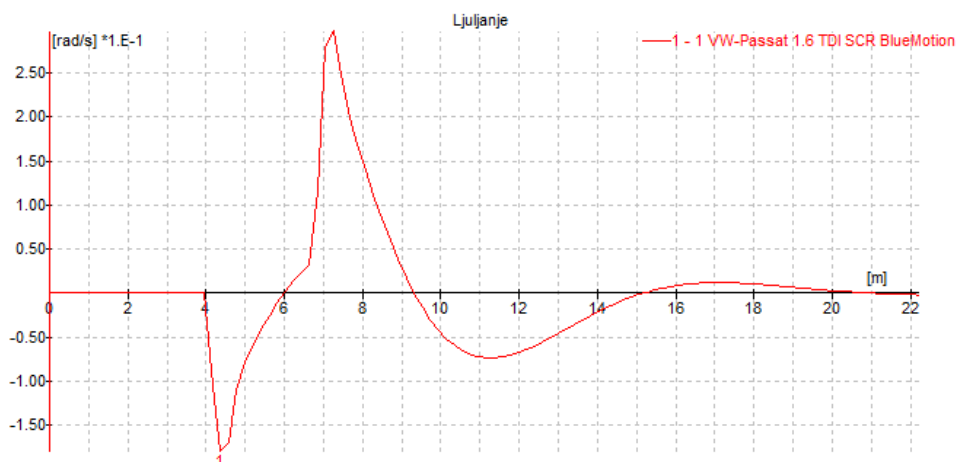
Tijekom kretanja vozila putanjom preko opreme uspornika prometa utjecaj sila djelovao je na stvaranje zibanja. Zibanje vozila odvijalo se u dva otklona od referentno položaja vozila kako je prikazano na grafikonu 20. Prvi otklon je bio intenzivan te mu je vrijednost premašila 1 radijan po sekundi u pozitivnom smjeru na četvrtome metru puta. Drugi otklon odvio se kao s nešto blažim posljedicama te tako vrijednosti dosežu preko nule do  $-0,80$  radijana po sekundi u negativnom smjeru na sedmome metru puta. Nakon drugog otklona zibanje vozila dolazi uz još treći otklon koji je značajno blaži u stabilan položaj iz kojega je vozilo započelo kretanje.



Grafikon 20: Zibanje vozila

Izvor: [4]

Pojava ljuljanja vozila tijekom kretanja istog pratilo je zibanje, ali sa suprotnim predznacima vrijednosti. Prvi otklon od ravnotežnog položaja odvio se na četvrtome metru puta u negativnome smjeru iznosa preko  $-1,50$  radijana po sekundi nakon čega je uslijedio porast vrijednosti i drugi otklon. Drugi otklon od ravnotežnog položaja ima ekstrem puno veće vrijednosti koji seže preko vrijednosti iznosa  $2,50$  radijana po sekundi. Po trećem i četvrtom otklonu, koji je još manjeg iznosa vrijednosti, od ravnotežnog položaja, vrijednosti ljuljanja koje je prouzročio utjecaj sila prelaskom vozila preko opreme uspornika prometa dolazi u stabilan, početni položaj.



Grafikon 21: Ljuljanje vozila

Izvor: [4]

## 6. MJERE I PREPORUKE ZA UČINKOVITO POSTAVLJANJE OPREME ZA SMIRIVANJE PROMETA

Za učinkovito funkcioniranje prometne strategije, pogotovo one invazivne koja svojim djelovanjem ima direktan utjecaj na promet, prometne procese i njegove sudionike, neophodna je priprema koja prethodi implementaciji. Cjelinu pojma prometa čine niz čimbenika fluidnih u vremenu. Praćenjem promjene tih čimbenika moguće je uskladiti njihovo djelovanje individualno odnosno njihovu međusobnu interakciju. Postojanost elemenata prometnog sustava izrazito je promjenjivog vijeka trajanja. Uzeći u obzir isto tako stohastičnost prometnih procesa, jedan je od pokazatelja zahtjevnosti sustava za razumijevanje prirode ponašanja.

Svakoј lokaciji potrebno je pristupiti individualno. Uz provedeno istraživanje, studije i analize koje se pripisuju uz pojedinu navedenu lokaciju primijeniti odgovarajući oblik strategije smirivanja prometa. Kvalitetnom analizom moguće je odabrati odgovarajuću opremu koja je će doprinijeti podizanje sigurnosti odvijanja prometa na odgovarajuću razinu.

### 6.1. Učinkovitost postojećeg stanja

U cilju maksimalnog iskorištenje dostupne strategije odnosno opreme koja se koristi potrebno je slijediti određene smjernice. Uvjeti koji se temelje na vrsti postavljanja prometne opreme koja se dovodi u pitanja u ovisnosti je o prometnoj situaciji te je u potpunosti određena Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.

Kako ne bi došlo do narušavanja postojeće sigurnosti, ponajprije je potrebno biti dosljedan u korištenju određene strategije i stavljanju iste u uporabu. Primjerice, svako postavljanje opreme uspornika prometa mora biti usklađeno s pravilnikom. Svaki uspornik iste vrste mora biti određen svojim dimenzijama i ostalim parametrima koji su bitni za njegovo puštanje u uporabu. Nepoštivanjem osnovnih pravila postavljanja opreme uspornika prometa povećava se rizik od nastanka prometne nesreće od prometnih elemenata koji služe za povećanje iste. Isto tako potrebno je obratiti pozornost na visinu uspornika za koje je propisano ograničenje brzine prelaska preko istog. Uslijed nepravilnog i nedosljednog postavljanja prometne opreme uspornika prometa dolazi do narušavanja dinamike kretanja prometnog toka putem sila koje nastaju interakcijom vozila i prometne opreme.

Osim što je bitno na pravilan način izvesti prometnu opremu uspornika prometa, bitno je na pravilan način implementirati je u prometnu mrežu. Primjena strategije smirivanja prometa ima za karakteristiku adaptirati se zasebnoj lokaciji postavljanja. Prilagođavanje

strategije odnosi se uporabu različitih tipova uspornika prometa ovisno i prometnoj lokaciji i situaciji u prometnoj mreži. Zahtjevi koje pojedina prometna lokacija pruža su raznoliki.

Primjer loše implementacije elementa invazivne strategije smirivanja prometa za rezultate ima smanjenje sposobnosti iskorištenja prometnice, njezinih kapaciteta i mogućnosti za odvijanje prometnih procesa, a ponajviše smanjenje sigurnosti prometa. Isto tako utjecaj koji na taj način provedena strategija obavlja preko postavljenje opreme uspornika prometa je smanjenje kvalitete pružene prometne usluge kroz neudobnost putovanja i smanjenje eksploatacijske moći kako voznog parka tako pojedinog vozila kao sudionika prometnog procesa.

Primjer implementacije takve strategije je postavljena oprema na lokaciji prometne mreže u gradu Zagrebu (prikazano slikom 20). Prometna oprema postavljena na predmetnoj lokaciji nije u skladu s pravilnikom ukoliko se u obzir uzme kako je ista postavljena u zavoju i povećanom nagibu kolničkog zastora.



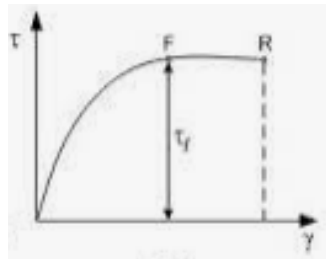
Slika 20: Položaj uspornika prometa

## 6.2. Inovativna rješenja

Inovativna rješenja kreću se u pogledu povećavanja razine prometne sigurnosti bez narušavanja pružene prometne usluge. Uporabom novih metoda i alata, tehnika odnosno tehnologija moguće je postići strategije koju su po mnogočemu naprednije.

Interdisciplinarnošću je moguće razviti nove, naprednije metode učenja ponašanja u nepredviđenim situacijama. Nenevtonove tekućine jedne su od takvoga pristupa. Newtonove tekućine su sve one koje svoju viskoznost mijenjaju u ovisnosti o temperaturi okoline u kojoj se nalaze. Primjerice, ukoliko je okolina toplija, viskoznost newtonove tekućine će biti manja zbog povećane slobode kretanja čestica od kojih je smjesa tvari sačinjena. Ukoliko je temperatura manja smjesa tvari newtonove tekućine imat će povećanu viskoznost zbog manje slobode kretanja čestica u smjesi. [11]

Nenevtonove tekućine svoju viskoznost mijenjaju u ovisnosti o primijenjenoj sili. Kada na smjesu tvari djeluje određena sila, viskoznost tekućine se povećava. Za vrijeme koje na smjesu tvari ne djeluje sila, viskoznost takve tvari je manja. Tekućina kao takva posjeduje dilatantna svojstva (prikazano slikom 21). Tijekom izostanka utjecaja vanjskih sila smjesa tvari vraća vrlo brzo u početno stanje. Primjenu ovakve vrste tehnologije moguće je pronaći u uporabi štitnika tijela, svemirskoj industriji, sensorima, prometu, glazbenoj industriji.



Slika 21: Dilatantni fluid

Izvor: [11]

## 7. ZAKLJUČAK

Smanjena prometna sigurnost očituje se u povećanom broju prometnih nesreća. Ukoliko prometnu sigurnost pojedine lokacije prometne mreže nije moguće podići na veću sigurnost regulacijom prometa kao što su prometni znakovi. Primjenjuje se invazivna tehnička smirivanje prometa prometnom opremom uspornika prometa. Zadaća prometne opreme uspornika prometa je uskladiti tri čimbenika prometa, a to su čovjek odnosno prvenstveno osoba koja upravlja prometom, okolina te samo vozilo koje sudjeluje u prometnim procesima. Poznavanjem i usklađivanjem sva tri čimbenika moguće je iznjedruti parametre koji grade uspornik prometa kao prometnu opremu.

U svrhu analize primjene strategije smirivanja prometa pomoću opreme uspornika prometa određeno je 20 lokacija primjene na području grada Zagreba. Područje analize kao relevantne podatke koristi prometne nesreće i njihovih parametara. Parametri analiziranih prometnih nesreća koji su uzeti u obzir u obliku su vrste prometne nesreće, posljedice prometne nesreće, karakteristike ceste na kojoj se dogodila prometna nesreća s obzirom na stanje kolnika i okolnosti pod kojima se prometna nesreća dogodila. Uvidom u prometne nesreće i njihovom razdoblju trogodišnje komparacije (prije i poslije) s obzirom na referentnu godinu postavljanja uspornika prometa 2019. ustanovljeno je kako nije došlo do smanjenja prometnih nesreća na predmetnim lokacijama. Prilikom revizije rezultata potrebno je uvažiti točnost podataka na kojima se temeljila obrada. Na samu točnost podataka utjecala je preciznost pozicioniranja prometnih nesreća kao i implementiranih uspornika prometa, a koja se posljednjih godina uvelike poboljšala.

Uspornik prometa kako bi imao utjecaj na individualnu prometnu situaciju u prometnoj mreži posjeduje određene parametre koji ga grade. Nekoliko je materijala izrade uspornika prometa, ovisno o njihovoj namjeni. Oblici prometne opreme uspornika prometa osim što se razlikuju prema materijalu izrade, razlikuju se i prema obliku. Oblik i materijal izrade opreme uspornika prometa prilagođen je situaciji u kojoj se smješta. Jedan od bitnih parametara je visina postavljenog uspornika prometa. O visini postavljanja uspornika prometa ovisi ograničenje brzine kojim će vozilo biti dozvoljeno preko istoga i putovati. Osim toga, intenzitet utjecaja kroz primijenjene sile ovisit će o samim specifikacijama opreme uspornika prometa.

Poznavanje dinamike kretanja vozila od neophodne je važnosti prilikom konstruiranja primjenjive strategije smirivanja prometa. Sile koje djeluju putem opreme uspornika prometa prelaskom vozila preko istog može odrediti upravljivost vozila, a samim time utjecati na

sigurnost okoline u kojoj se vozilo nalazi kao i na sigurnost osobe koja upravlja vozilom odnosno putnika unutar vozila. Smanjenje negativnog utjecaja korištenih alata moguća je uporabom inovativnih tehnologija.

Povodom uspostavljanja reda veličina sila koje djeluju na vozilo korištenjem prometne opreme uspornika prometa napravljena je pomoću softverskog programskog alata PC Crash-a simulacija prelaska vozila preko uspornika prometa. U simuliranom događaju vozilo je preko vozila prelazilo s tri različite brzine, 30 km/h, 40 km/h i 50 km/h. Pri svakoj iteraciji simulacije mjerene su sile koje su djelovale u domeni sila pritiska na kotače vozila, sile bočnog vođenja kotača vozila, količina zibanja i gibanja vozila. Variranje utjecaja količine primljenih sila na pojedine kotače vozila ovisila je o brzini kretanja samog vozila. Primjerice, sila pritiska na kotače vozila stražnje osovine bila je veća pri kretanju vozila brzinom 30 km/h dok je pri brzini kretanja od 40 km/h veću utjecaj sila bio na kotače prednje osovine vozila. Sile pritiska na kotače vozila pri maksimalnoj brzini mjerenja od 50 km/h na prednjoj i stražnjoj osovini vozila bile su jednake. Sile koje djeluju na pritisak kotača vozila pripisuju se silama uzdužnog djelovanja. Sile koje većim djelom djeluju na stabilnost odnosno samu dinamiku kretanja vozila prikazuju se kako bočne ili lateralne sile. Savladavanje sila bočnog vođenja direktno utječe na putanju kretanja vozila. Prilikom provođenja simuliranog događaja prelaska vozila preko opreme uspornika prometa sile bočnog vođenja uvelike se razlikuju ovisno o brzini kretanja vozila. Pri brzinama od 30 i 40 km/h iznos bočnih sila je s pozitivnom vrijednošću maksimuma od 1,30 kN za brzinu od 30 km/h dok je brzinu od 40 km/h taj iznos 2,70 kN. Za brzinu od 50 km/h iznos sila bočnog vođenja negativne je vrijednosti maksimuma od 6,80 kN. Optimizacija sila koje djeluju na vozilo može se izjednačiti uporabom inovativnog aspekta opreme.

Nenewtonove tekućine su smjese tvari čija se viskoznost mijenja u ovisnosti o primijenjenoj sili. Tekućine kao smjese tvari integrirane multidisciplinarnom intervencijom u prometne procese mogle bi unaprijediti sigurnost prometa podižući je na veću razinu isto kao i pruženu prometnu uslugu.

## LITERATURA:

- [1] Prof. dr. sc. Cerovac V.: Tehnika i sigurnost promet, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti 2001.
- [2] Rotim, F.: Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 2, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1991.
- [3] Legac, I.: Cestovne prometnice 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [4] Fakultet prometnih znanosti
- [5] Auto portal <https://autoportal.hr/tehnika/dinamika-vozila-1-sto-se-dogada-u-3-glavne-osi-x-y-z-pocetak-vaznog-serijala/> (pristupljeno: kolovoz 2023.)
- [6] Auto portal <https://autoportal.hr/tehnika/dinamika-vozila-4-krug-elipsa-trenja-temelj-prianjanja-voznih-svojtava-i-stabilnosti/> (pristupljeno: kolovoz 2023.)
- [7] Narodne novine [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_09\\_92\\_1823.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_09_92_1823.html) (pristupljeno: kolovoz 2023.)
- [8] Odvjetnik strnišćak <https://www.odvjetnik-strniscak.hr/odvjetnik/odvjetnik-za-tjelesne-ozljede> (pristupljeno: rujan 2023.)
- [9] DSD [http://www.dsd.at/index.php?option=com\\_content&view=article&id=512:pc-crash-englisch-3&catid=37&lang=en&Itemid=159](http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=512:pc-crash-englisch-3&catid=37&lang=en&Itemid=159) (pristupljeno: kolovoz 2023.)
- [10] <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/10/2238> (pristupljeno: rujan 2023.)
- [11] Shear Thickening Fluid and Its Application in Impact Protection  
<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/10/2238> (pristupljeno: kolovoz 2023.)
- [12] Otpori kretanju [http://ttl.masfak.ni.ac.rs/MMIV/III\\_Otpori\\_kretanju.pdf](http://ttl.masfak.ni.ac.rs/MMIV/III_Otpori_kretanju.pdf) (pristupljeno: rujan 2023.)
- [13] Teorija kretanja drumskih vozila <http://mehanizacija.ftn.uns.ac.rs/wp-content/uploads/2021/03/P03-uzduzna-dinamika.pdf> (pristupljeno: rujan 2023.)
- [14] Cestodom <https://www.cestodom.hr/sites/default/files/pictures/uspornici-guma-desktop.jpg>



## POPIS SLIKA

Slika 1: Trodimenzionalni kartezijski koordinatni sustav djelovanja sila na vozilo

Slika 2: Djelovanje sila na vozilo

Slika 3: Elementi stabilnosti motornog vozila

Slika 4: Utjecaj bočne sile na vrijednosti kritične brzine

Slika 5: Blokiranje prednje ili stražnje osovine

Slika 6: Kretanje vozila pri ekstremnom kočenju

Slika 7: Destabilizacija vozila pri kočenju

Slika 8: Analiza stabilnosti pri kočenju skupa vozila

Slika 9: Različiti slučajevi zanošenja skupa vozila

Slika 10: Kočno djelovanje i specifična sila kočenja

Slika 11: Odnos kočnog djelovanja i specifične sile kočenja pri iznenadnom i snažnom kočenju

Slika 12: Primjeri skretanja vozila s pravca kretanja

Slika 13: Raspored sila i momenata u djelovanju na vozilo

Slika 14: Četvrtasti uspornik prometa od reciklažne gume

Slika 15: Jastuci od reciklažne gume

Slika 16: Betonski jastuci

Slika 17: Betonski uspornik

Slika 18: Uzdignuta ploha

Slika 19: Odnos rasporeda objekata unutar simulacije

Slika 20: Položaj uspornika prometa

Slika 21: Dilatantni fluid

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1: značajke čovjeka u sigurnosti prometa

Grafikon 2: Vrsta prometnih nesreća

Grafikon 3: Posljedice prometnih nesreća

Grafikon 4: Stanje površine kolnika

Grafikon 5: Okolnosti prometnih nesreća

Grafikon 6: Vrsta prometnih nesreća

Grafikon 7: Posljedice prometnih nesreća

Grafikon 8: Stanje površine kolničkog zastora

Grafikon 9: Okolnosti prometnih nesreća

Grafikon 10: Sila pritiska na kotače vozila

Grafikon 11: Sile bočnog vođenja kotača vozila

Grafikon 12: Zibanje vozila

Grafikon 13: Ljuljanje vozila

Grafikon 14: Sila pritiska na kotače

Grafikon 15: Sile bočnog vođenja kotača vozila

Grafikon 16: Zibanje vozila

Grafikon 17: Ljuljanje vozila

Grafikon 18: Sile pritiska na kotače vozila

Grafikon 19: Sile bočnog vođenja kotača

Grafikon 20: Zibanje vozila

Grafikon 21: Ljuljanje vozila



Sveučilište  
u Zagrebu Fakultet  
prometnih znanosti 10000  
Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi. Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom Utjecaj uspornika prometa na dinamiku kretanja vozila na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U  
Zagrebu, 11/9/2023