

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: /

Предмет: Основе динамике МВ

Број индекса: 812/2016

Никола Д. Лазаревић
Отпори кретању возила
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Данијела Милорадовић, ванр. проф.-ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада студент треба да:

- прикаже теоријске основе везане за спољашње силе отпора које се јављају при кретању возила (отпор при котрљању, отпор ваздуха, отпор нагиба пута, отпор инерцијалних сила, радни отпор, отпор прикључног возила),
- прикаже теоријске основе везане за унутрашње силе отпора које се јављају при кретању возила,
- процени значај појединих отпора кретању возила у различитим условима вожње (на примеру конкретног возила) и
- прикаже и анализира дијаграме отпора кретању возила у зависности од утицајних фактора (на примеру конкретног возила).

Препоручена литература:

- [1] Јанковић, А. *Динамика аутомобила*. Крагујевац: Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [2] Кнор, П. *Динамика моторних возила - скрипта*. Сарајево: Машински факултет Сарајево, 2005/2006.
- [3] Демић, М., Лукић, Ј. *Теорија кретања моторних возила*. Крагујевац: Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [4] Симић, Д. *Моторна возила*. Београд: Научна књига, 1988.
- [5] Meuwert, M. *Vehicle Dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2015.

Крагујевац, март 2020. год.

Ментор:
др Данијела Милорадовић, ванр. проф.

РЕЗИМЕ

Моторна и прикључна возила у току кретања изложена су дејству различитих сила отпора кретању које се разликују не само по свом карактеру и начину дејства, већ и по утицајима које имају на њихово кретање. На возило делују пропульзивне силе, које настоје да убрзају возило и отпорне силе које се супротстављају кретању, односно теже да га успоре. У овом завршном раду су приказане теоријске основе везане за спољашње силе отпора које се јављају при кретању возила (отпор при котрљању, отпор ваздуха, отпор нагиба пута, отпор инерцијалних сила, радни отпор, отпор прикључног возила), као и за унутрашње силе отпора. Процењен је њихов значај у различитим условима вожње и анализирани су дијаграми отпора кретању возила у зависности од утицајних фактора (на примеру конкретног возила).

Кључне речи: моторна возила, отпор ваздуха, отпор инерције, отпор прикључних возила, отпор котрљања, радни отпори, отпор нагиба пута

ABSTRACT

Motor vehicles and trailers are exposed to different forces during their movement, which differ not only in their character and in the mode of action, but also in the effects that they have on vehicle movement. The vehicle is acted upon by propulsive forces, which try to accelerate the vehicle, and resistant forces that oppose the movement, i.e. which tend to slow it down. This final paper presents the theoretical basis related to external resistance forces that occur during vehicle movement (rolling resistance, air resistance, road slope resistance, inertial force resistance, operating resistance, trailer resistance), as well as to internal resistance forces. Their significance in different driving conditions was assessed and the diagrams of resistance to vehicle movement were analysed, depending on the influencing factors (on the example of a specific vehicle).

Keywords: motor vehicles, air resistance, inertial force resistance, trailer resistance, rolling resistance, operating resistance, road slope resistance

Садржај

1. Увод	1
2. Спољашњи отпори кретању возила	3
2.1 Отпор котрљања.....	3
2.1.1 Удео пнеуматика у отпору котрљања.....	6
2.1.2 Удео пута у отпору котрљања	9
2.1.3 Удео угла бочног скретања у отпору котрљања.....	10
2.1.4 Удео отпора трења у лежајевима точка.....	12
2.1.5 Начини за смањење отпора котрљања.....	12
2.2 Отпор ваздуха.....	13
2.2.1 Сила чеоног удара	16
2.2.2 Сила задњег вакуума	16
2.2.3 Коефицијент отпора ваздуха	18
2.3 Отпор нагиба пута.....	19
2.4 Отпор инерцијалних сила.....	21
2.5 Отпор приколице	25
3. Унутрашњи отпори при кретању возила.....	27
4. Приказ и анализа дијаграма отпора кретању возила у зависности од утицајних фактора	28
5. Закључак.....	30
6. Литература	31

1. Увод

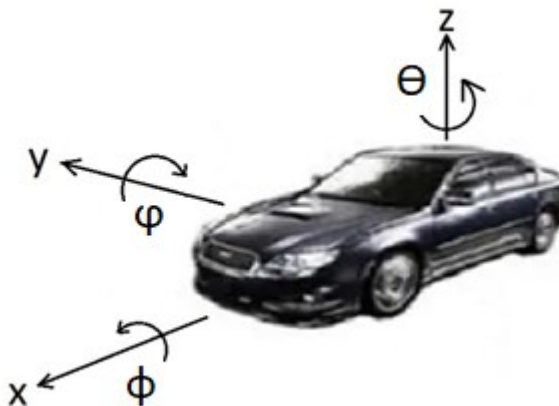
Моторно возило је возило на моторни погон које је првенствено намењено за превоз лица и ствари на путевима или које служи за вучу прикључних возила намењених за превоз лица и ствари. У ову категорију не спадају шинска возила, бицикли с мотором, трактори и друга возила на моторни погон која нису првенствено намењена за превоз лица и ствари. Погон возила обезбеђује обично мотор са унутрашњим сагоревањем, електрични мотор или нека комбинација ова два.

Моторна возила се класификују у више врста возила [1]:

- Врста L - mopеди, мотоцикли, трицикли и четвороцикли,
- Врста M – возила за превоз лица (путничка возила, аутобуси, тролејбуси),
- Врста N – теретна возила,
- Врсте T, Tm, TR и C - трактори, мотокултиватори, радне машине, трактори гусеничари.

Ове класификације се разликују у складу са законским регулативама и прописима сваке земље. Међународни стандард који се бави типовима, терминима и дефиницијама у вези друмских возила је ISO 3833:1977.

Возило представља сложени динамички систем са великим бројем степени слободе. У општем случају, представља тело са 6 степени слободе кретања у простору, што се може видети на слици 1.



Слика 1. – Могућа кретања возила

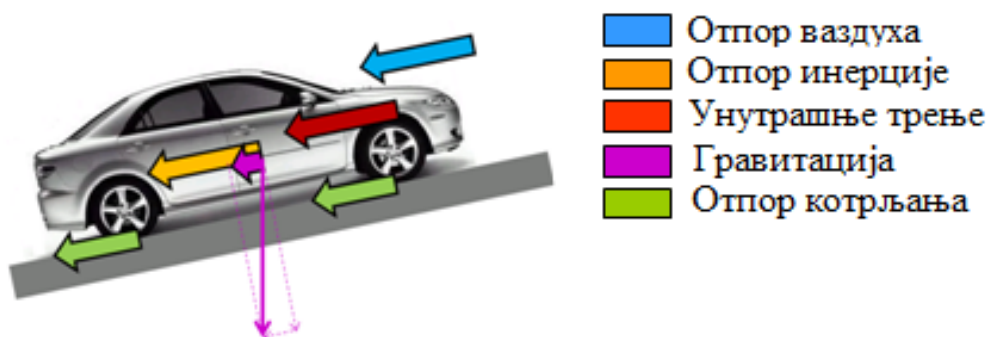
Могући степени слободе кретања возила као целине су:

- x - подужно померање,
- y - попречно померање,
- z - вертикално померање,
- ϕ – ротација око x осе (ваљање),
- φ - ротација око y осе (галопирање) и
- θ - ротација око z осе (пливање).

Моторна и прикључна возила у току кретања изложена су дејству различитих сила које се разликују не само по свом карактеру и начину дејства, већ и по утицајима које имају на њихово кретање. На возило делују пропульзивне силе, које настоје да убрзају возило и отпорне силе које се супротстављају кретању, односно теже да га успоре. Кретању возила супротстављају се следеће силе отпора [2]:

- отпор котрљања, R_f ,
- отпор ваздуха, R_v ,
- отпор нагиба пута, R_a ,
- отпор инерцијалних сила, R_i ,
- радни отпор, R_r , и
- отпор прикључног возила, R_p .

На слици 2 може се видети правац и смер деловања одређених сила отпора на возило.



Слика 2. – Возило изложено силама отпора кретању [3]

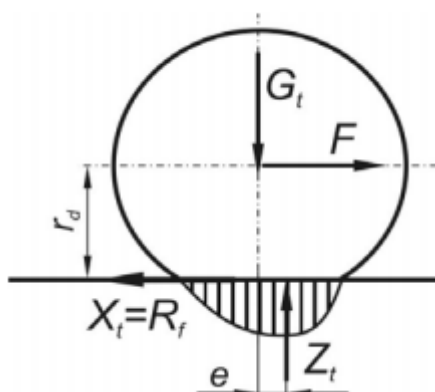
Као што се на слици 2 може видети, поред основних сила отпора које делују на возило, приликом кретања делују и унутрашње силе отпора. У овом раду биће представљени и унутрашњи отпори, пре свега отпори који се јављају у систему преноса снаге.

2. Спољашњи отпори кретању возила

2.1 Отпор котрљања

Отпор котрљања се може дефинисати као сила која се супротставља кретању пнеуматика по површини пута. Бројни су фактори који утичу на отпор котрљања, као што су: изградња путева и врста истих, дизајн пнеуматика и чак врста гуме која се користи за израду пнеуматика [4].

Отпор котрљања се посебно односи на део пнеуматика који остварује контакт са подлогом док се возило креће. На слици 3 је приказан отпор кретању еластичног точка при контакту са тврдом подлогом.



Слика 3. – Отпор кретању еластичног точка по тврдом тлу [4]

Динамичке реакције тла које се јављају на точку на који делује погонска сила, F , и радијално оптерећење точка, G_t , за случај приказан на слици 3 су:

- X_t - хоризонтална и
- Z_t - вертикална.

Тангенцијална динамичка реакција, X_t , се може налазити у границама $0 \leq X_t \leq Z_t \cdot \mu$, где је μ - коефицијент приањања између точка и подлоге. Коефицијент приањања, μ , зависи од карактеристика подлоге, атмосферских услова, врсте и карактеристика пнеуматика и правца дејства силе у равни контакта пнеуматика и тла. Остале ознаке на слици 3 су:

- r_d - динамички полупречник точка и
- e - ексцентрицитет вертикалне динамичке реакције тла.

Сада се може написати релација која произилази из равнотеже момената који делују на точак:

$$F \cdot r_d = Z_t \cdot e \quad (2.1)$$

Како је, према условима са слике 3, $X_t = F$, следи израз за тангенцијалну силу отпора кретања точка, узимајући у обзир и релацију (2.1):

$$X_t = F = Z_t \cdot \frac{e}{r_d} . \quad (2.2)$$

Однос $\frac{e}{r_d} = f$ представља коефицијент отпора котрљања, f .

Године истраживања су утрошене на утврђивање који фактори доводе до већег отпора котрљања и како ће различити услови и пнеуматици на крају утицати на возило. Утврђено је да, што је већи отпор котрљања, више енергије моторно возило троши покушавајући да постигне жељену брзину. Ова флукуација може имати велики утицај на перформансе возила - од уштеде горива до руковања. Смањење отпора котрљања одличан је начин да се побољшају перформансе моторног возила, као и његов животни век [4].

Израз за отпор котрљања еластичног точка по недеформабилном путу, R_f , је:

$$R_f = \sum f \cdot G_T = f \cdot G, \quad (2.3)$$

где су:

- f – коефицијент отпора котрљања,
- G_T – радијално оптерећење точка и
- G – укупна тежина возила.

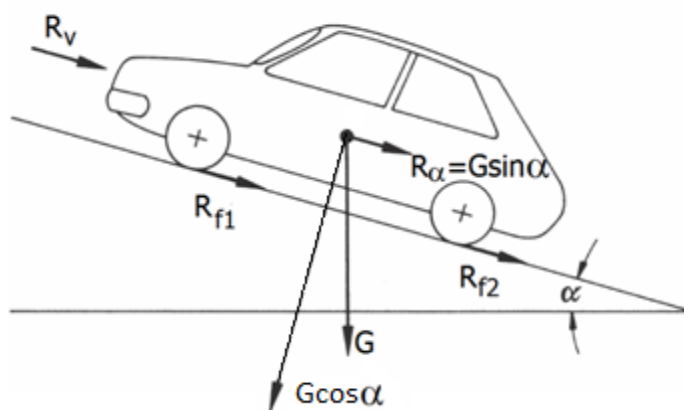
Коефицијент отпора котрљања, f , зависи од [4]:

- радијалног оптерећења (са порастом Z_t и он расте),
- притиска ваздуха у пнеуматику (са порастом притиска он опада),
- димензија пнеуматика (пнеуматици већих димензија имају мањи коефицијент отпора котрљања),
- конструкције пнеуматика (постоје решења са изузетно малим коефицијентом отпора котрљања) и
- брзине кретања (са порастом брзине расте).

Коефицијент отпора котрљања, f , обухвата и све друге губитке који су везани за кретање возила, као што су: трење у лежајевима точкова, ударе о неравнине пута, трење код вученог, прикључног возила, итд.

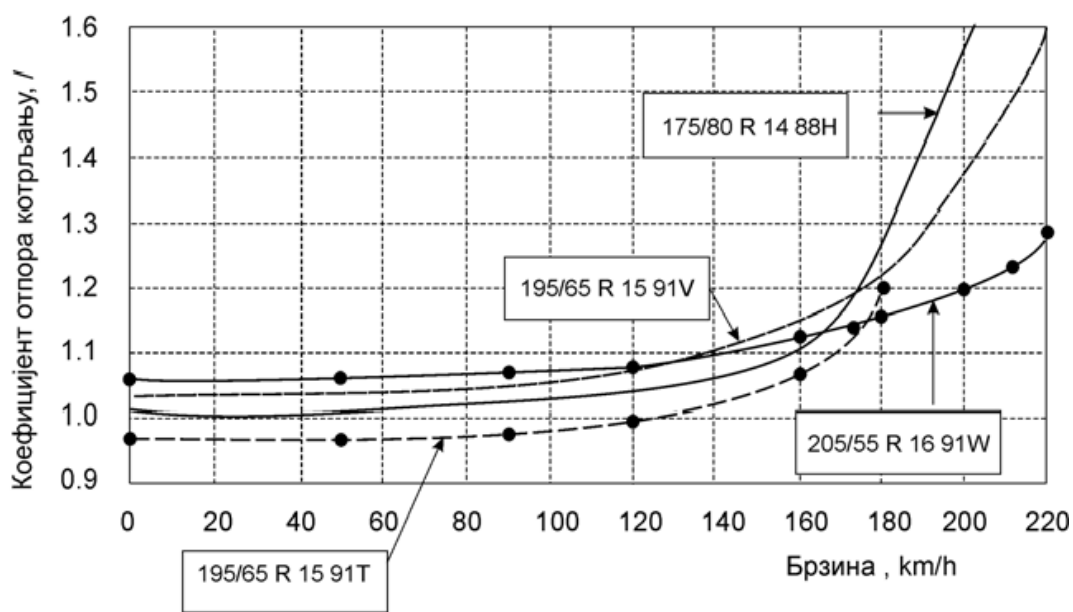
При кретању возила на путу са углом нагиба α , слика 4, отпор котрљања изазива само компонента тежине нормална на пут, $G \cdot \cos \alpha$, па је уопштен израз за отпор котрљања, R_f , следећи:

$$R_f = G \cdot f \cdot \cos \alpha. \quad (2.4)$$



Слика 4. - Кретање возила на нагнутом путу [4]

Зависност коефицијента отпора котрљања од брзине кретања за различите димензије пнеуматика, приказана је на слици 5. Коефицијент отпора котрљања је константан за брзине кретања до приближно 60 kmh^{-1} . У областима већих брзина, коефицијент отпора котрљања расте са квадратом брзине.



Слика 5. – Зависност коефицијента отпора котрљања од брзине кретања возила [4]

Отпор котрљања се састоји од више компоненти које се, према својој природи, могу поделити на [5]:

- удео пнеуматика,
- удео пута,
- удео угла бочног скретања точка,
- удео трења у лежајевима точка.

Мерења отпора котрљања су због великог броја утицајних фактора несигурна и са великим расипањем добијених резултата. Зато треба размотрити поједине уделе отпора котрљања квалитативно, а тамо где је могуће и квантитативно.

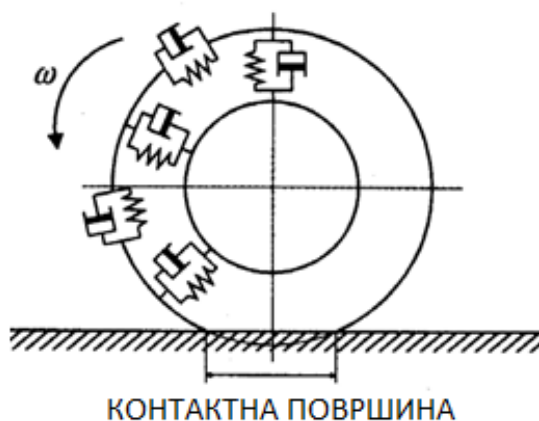
2.1.1 Удео пнеуматика у отпору котрљања

Отпор котрљања који зависи од пнеуматика састоји се од [5]:

- унутрашњег трења у пнеуматику,
- трења између пнеуматика и пута због проклизавања и
- ваздушног ефекта пнеуматика.

Унутрашње трење у пнеуматику

Унутрашње трење у пнеуматику је најзначајнији део отпора котрљања. За боље разумевање природе овог отпора, на слици 6 је приказан модел пнеуматика као еластично-пригушног система.

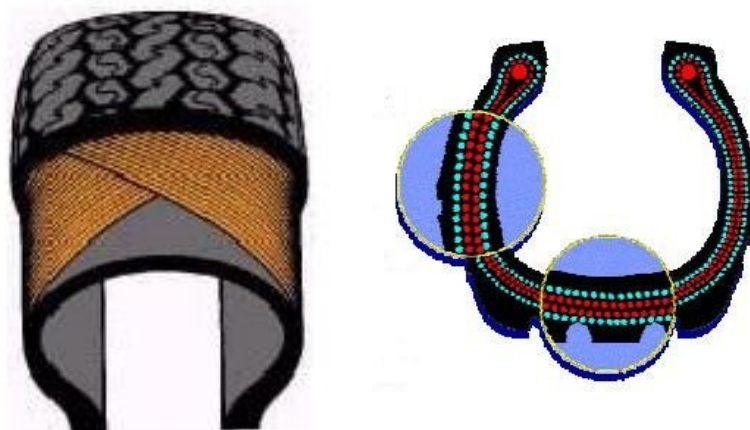


Слика 6. - Модел пнеуматика са еластично-пригушним елементима [5]

При котрљању пнеуматика, рад у еластично-пригушним елементима претвара се у топлоту. Удео отпора котрљања услед пригушења у пнеуматику, R_{fPRIG} , једнак је односу рада пригушења, L_{PRIG} , и пређеног пута, S :

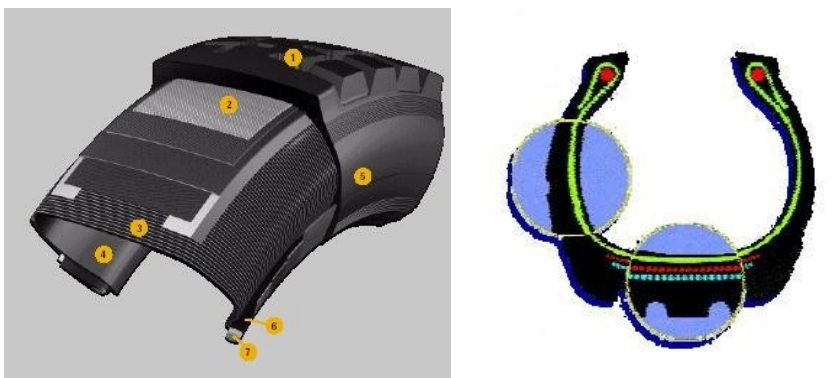
$$R_{fPRIG} = \frac{L_{PRIG}}{S}. \quad (2.5)$$

Значајна смањења отпора котрљања су постигнута увођењем радијалних пнеуматика, кроз смањење унутрашњег трења у поређењу са дијагоналним пнеуматиком. Код дијагоналних пнеуматика са слојевитом каркасом, носеће компоненте су постављене под углом од 20° до 40° . Као последица, постоји значајна дебљина бокова пнеуматика и велике деформације рада које су илустроване на слици 7.



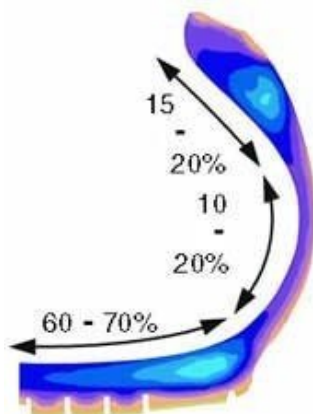
Слика 7. - Изглед дијагоналног пнеуматика са местима највећег деформационог рада [5]

Код радијалног пнеуматика, слојеви каркасе постављени су под међусобним углом од 85° до 90° . Носећи слој концентрисан је по ободу пнеуматика, бокови пнеуматика не преносе велика оптерећења, па је и деформациони рад у њима много мањи, као што је приказано на слици 8.



Слика 8. - Изглед радијалног пнеуматика са местима највећег деформационог рада [5]

На слици 9 су приказана места највећих деформација у радијалном пнеуматику, која имају највеће загревање.

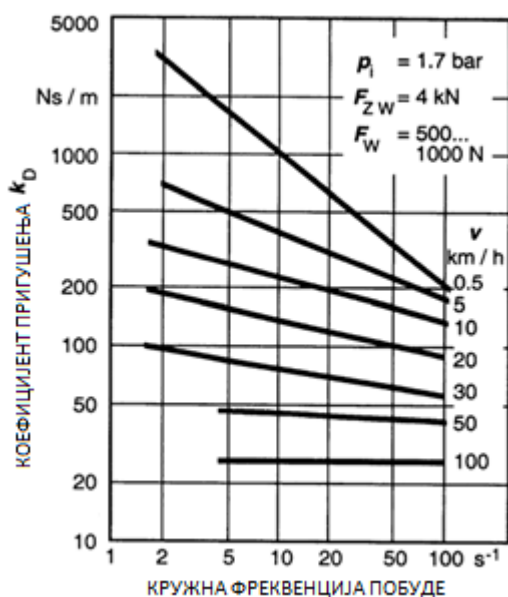


Слика 9. - Локације највећих деформација у савременом радијалном пнеуматику [5]

Истраживања која су вршена о деформационом раду у пнеуматику показала су да се овај рад састоји од две компоненте:

- стационарног пригушења, које зависи о својству пнеуматика и брзине и
- осцилаторног пригушења, које зависи од динамичких сила у пнеуматику (промене оптерећења пнеуматика, неуравнотеженост).

Коефицијент пригушења, k_D , опада са порастом брзине и порастом кружне фреквенције побуде, слика 10. Истовремено, расте деформациони рад осцилаторних пригушења која су проузрокована деформационим таласом приказаним на слици 11. Овај рад расте са брзином и суперпонира се са стационарним деформационим радом. Притом је утицај осцилаторних пригушења доминантан и као последица укупне деформације, рад расте са брзином возила [5].



Слика 10. - Стационарни рад пригушења [5]

Слика 11. - Деформациони талас [5]

Трење између пнеуматика и пута услед проклизавања

На контактної површини између пнеуматика и пута долази до проклизавања делића пнеуматика према путу у уздужном и попречном правцу због деформације пнеуматика и пута и преноса сила. Ово проклизавање изазива трошење пнеуматика и манифестује се као додатни отпор котрљању, R_{fFRIK} .

Отпор ваздуха при кретању пнеуматика

Ротирање пнеуматика ствара одређене отпоре ваздуха. Ови, тзв. „вентилирајући“ отпори, R_{fVENT} [5], по правилу се додају осталим отпорима ваздуха при кретању возила, па зато се неће даље разматрати, иако се приликом мерења отпора кретања могу приказати као компонента отпора котрљања.

Укупни удео пнеуматика у отпору котрљања

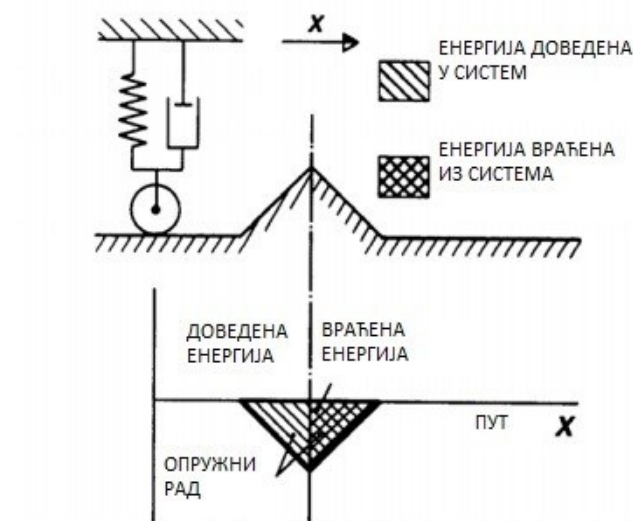
Укупни удео пнеуматика у отпору котрљања је једнак:

$$R_{fG} = R_{fPRIG} + R_{fFRIK} + R_{fVENT}. \quad (2.6)$$

У пракси је сврсисходно прве две компоненте отпора котрљања пнеуматика размотрити заједно, а отпор R_{fVENT} додати осталим отпорима ваздуха при кретању возила [5].

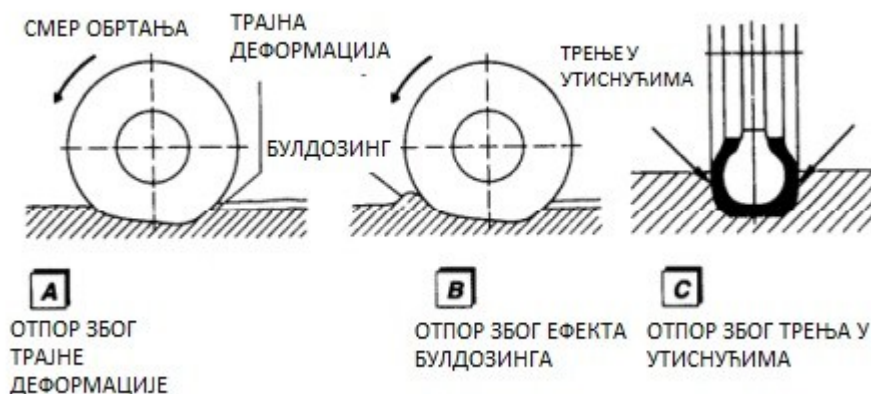
2.1.2 Удео пута у отпору котрљања

Неравнине на еластичном - недеформабилном путу по коме се креће возило, изазивају додатне деформације пнеуматика, које повећавају унутрашње трење у пнеуматику, а самим тим и отпор котрљања, слика 12. Са друге стране, долази до унутрашњег трења у материјалу пута и, код недовољно квалитетних путева, долази до оштећења површинског слоја [5].



Слика 12. - Енергетски губици изазвани неравнином на путу [5]

Кретањем по деформабилном (пластичном) путу, слика 13, долази до већег отпора котрљања у односу на претходни случај, због рада утрошеног на деформисање пута. У деформабилне путеве се сврставају путеви на којима се налази: песак, земља, снег и слично [5].



Слика 13- Компоненте отпора котрљања за случај деформабилног пута [5]

Отпор котрљања изазван деформацијом пластичног пута зависи од карактера пута и оптерећења точка и може се изразити следећом формулом:

$$R_{fPLAST} = f_{PLAST} \cdot G, \quad (2.7)$$

где је f_{PLAST} – коефицијент отпора котрљања по деформабилном (пластичном) путу.

Да би пнеуматик остварио контакт са мокром асфалтном подлогом мора истиснути воду између пута и належуће површине пнеуматика, што је приказано на слици 14 [5].



Слика 14. - Фазе истискивања воде при вожњи по мокром путу [5]

За истискивање воде потребно је утрошити одређену енергију, због које и настаје отпор воде који се израчунава на основу следећег израза [5]:

$$R_{fVODA} = \frac{b}{10} \cdot \left(\frac{V}{N}\right)^E, \quad (2.8)$$

где су:

- R_{fVODA} - отпор котрљања услед воде на путу,
- b - ширина пнеуматика у см,
- V - брзина возила у $\frac{km}{h}$ и
- $N, \frac{km}{h}, E, -,-$ величине које зависе од висине воденог филма.

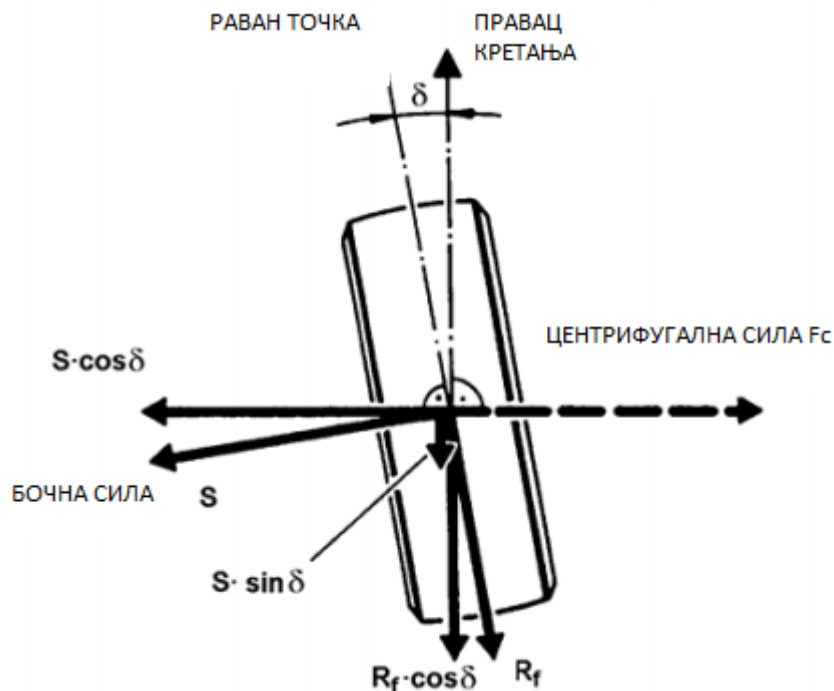
Резултујући отпор котрљања по мокром путу, R_{fREZ} , је једнак:

$$R_{fREZ} = R_f + R_{fVODA}. \quad (2.9)$$

2.1.3 Удео угла бочног скретања у отпору котрљања

Приликом коришћења моторног возила на деоницама пута које имају одређени нагиб, при проласку кроз кривину и услед дејства бочног ветра долази до појаве бочне силе.

На слици 15 су дати односи сила при кретању точка под дејством бочне силе [5].



Слика 15- Односи сила при кретању точка под дејством бочне силе [5]

Ако на точак делује бочна сила S , а точак има угао бочног сретања δ у односу на правац кретања, тада се кретању точка опире компонента силе, R_s , чија је величина:

$$R_s = S \cdot \sin \delta. \quad (2.10)$$

За мале углове бочног скретања точка, бочна сила износи:

$$S = k \cdot \delta. \quad (2.11)$$

За мале углове важи и да је $\sin \delta \approx \delta$, тако да из једначина (2.10) и (2.11) следи:

$$R_s = k \cdot \delta^2. \quad (2.12)$$

Ако се уведе коефицијент отпора бочне силе котрљању, f_{RS} [5]:

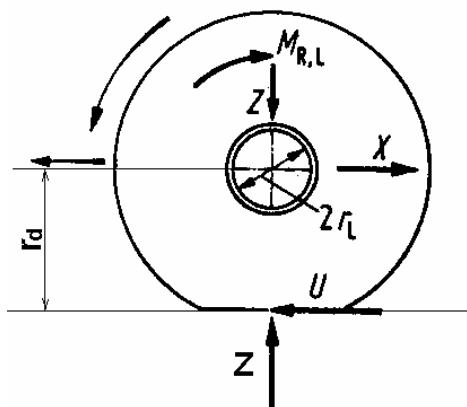
$$f_{RS} = \frac{k \cdot \delta^2}{G}, \quad (2.13)$$

сила која се супротставља кретању возила се израчунава преко следеће формуле:

$$R_s = f_{RS} \cdot G. \quad (2.14)$$

2.1.4 Удео отпора трења у лежајевима точка

Код новијих возила, трење у лежајевима точкова се скоро увек може занемарити. На слици 16 приказана је шема за одређивање овог отпора.



Слика 16 - Шема дејства сила и момента за одређивање додатног отпора котрљања због трења у лежајевима точка [5]

Са слике 16 је јасно да је еквивалентни коефицијент отпора котрљања због отпора у лежајевима, f_L , једнак [5]:

$$f_L = \mu_L \cdot \frac{r_L}{r_d}, \quad (2.15)$$

где су:

- μ_L - коефицијент трења у лежају,
- r_L - полупречник лежaja,
- r_d - динамички полупречник точка.

Вредности коефицијента отпора котрљања због отпора у лежајевима, f_L , износе приближно 0,0001 код котрљајних лежaja и приближно 0,0004 код клизних лежaja.

2.1.5 Начини за смањење отпора котрљања

У циљу побољшања општих перформанси возила потребно је придржавати се следећих препорука [6]:

- **Правилно надување пнеуматика.** Постоји на десетине разлога због којих је важно имати правилно надуване пнеуматике, али један од најчешће занемарених је ефекат који имају на отпор котрљања. Када се пнеуматик правилно напуни, постаје заобљен и облик му је ближи савршеном кругу. Такође, постаје чвршћи и боље одржава облик. Међутим, ако је пнеуматик пренадуван, то може негативно утицати на управљање аутомобилом, због чега је неопходно имати правилно надуван пнеуматик и проверене притиске у пнеуматичима месечно или пре дуге вожње.
- **Поштовање ограничења брзине кретања возила.** При брзини до 60 kmh^{-1} , отпор котрљања се не приметно повећава, али при већој брзини тај отпор постаје већи.

- **Провера газећег слоја пнеуматика.** Како се контактна површина пнеуматика временом троши, отпор котрљања се смањује, јер пнеуматик губи газећи слој и могућност приањања, па се равномерније котрља по површини. Међутим, истрошен пнеуматик са мањим приањањем ће негативно утицати на управљање возилом и на перформансе возила, чинећи вожњу са истрошеним пнеуматичима небезбедним начином за смањење отпора котрљања.
- **Смањење оптерећења пнеуматика.** Чини се да то не представља проблем, али када аутомобил има веће оптерећење, отпор котрљања се директно повећава. Када се отпор котрљања повећа, возило ће потрошити више горива и снаге мотора да достигне жељену брзину, што је у овом тренутку готово не приметно, али с временом сталног коришћења, возило може доживети безброј проблема [6].

2.2 Отпор ваздуха

Данас, када се посебна пажња посвећује очувању животне средине, отпор ваздуха при кретању возила, слика 17, игра важнију улогу него икад раније. Коефицијент отпора ваздуха је параметар који утиче на максималну брзину, стабилност, потрошњу горива, итд.



Слика 17. – Дејство отпора ваздуха на различитим типовима возила

Силе и моменти који делују на возило из околног ваздуха више зависе од облика каросерије него од карактеристика шасије. Међутим, аеродинамичке силе и моменти имају велики утицај на уздужне перформансе возила, на управљивост, па чак и његову удобност, тако да их није могуће потпуно занемарити. Чак и ако се често сматра да је циљ аеродинамике моторних возила у суштини смањење аеродинамичког отпора, обим и примена аеродинамике у технологији моторних возила су много шири [7].

Са аспекта смањења отпора ваздуха, вредно је споменути следеће аспекте [7]:

- смањење аеродинамичког отпора у правцу релативне брзине,

- смањење бочне силе и момента пливања, који имају важан утицај на стабилност и управљивост возила,
- смањење аеродинамичне буке, што је важно питање за акустички комфор возила и
- смањење прљавштине која се таложи на возилу, пре свега на прозорима и светлима приликом вожње по влажном коловозу, а нарочито по блату или снегу.

Величина силе отпора ваздуха одређена је следећим изразом:

$$R_v = c_x \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2, \quad (2.16)$$

где су:

- c_x , — - коефицијент отпора облика возила(коефицијент аеродинамичности),
- A, m^2 - чеона површина возила,
- $\rho, \frac{kg}{m^3}$ - густина ваздуха и
- $v, \frac{m}{s}$ - брзина кретања возила.

Правец силе отпора ваздуха зависи од правца природног струјања ваздуха (ветра). Резултујућа брзина ваздушне струје је:

$$v_r = \sqrt{v^2 + w^2 + 2vw \cos \tau}, \quad (2.17)$$

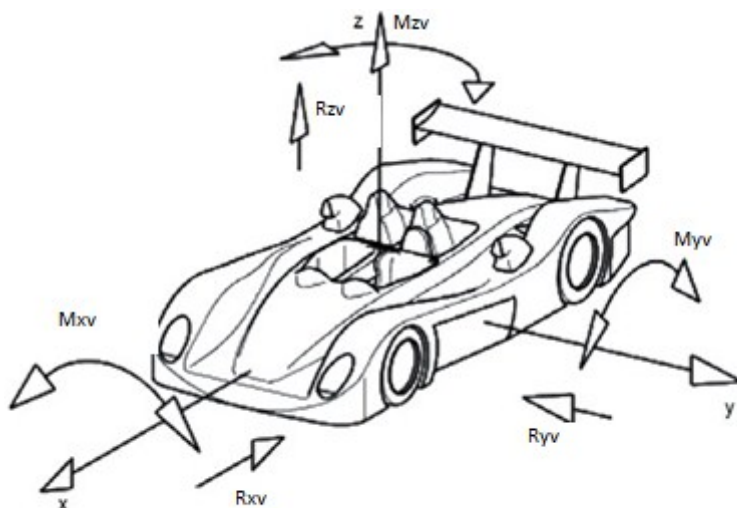
где су:

- v - брзина кретања возила, ms^{-1} ,
- w - брзина ветра, ms^{-1}
- τ - угао који заклапа смер ветра са смером кретања возила.

Уколико дува чеони ветар, односно $\tau = 0$, тада је резултујућа брзина $v_r = v + w$. Када дува ветар „у леђа“, $\tau = 180^\circ$, резултујућа брзина је $v_r = v - w$. За бочни ветар, $\tau = 90^\circ$ или $\tau = 270^\circ$, резултујућа брзина ветра је $v_r = \sqrt{v^2 \pm w^2}$.

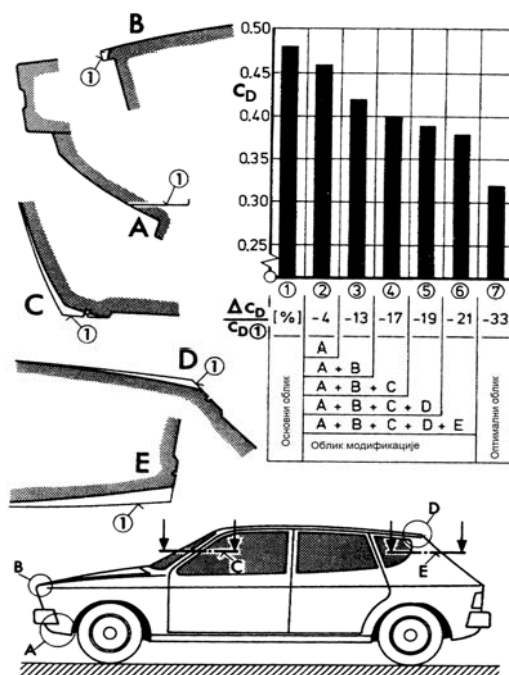
Без обзира колико споро се возило креће, потребна је мала количина енергије да би се оно кретало кроз ваздух. На слици 18 је приказана шема дејства свих компоненти аеродинамичке силе и момента на возило:

- R_{xv} - подужна компонента силе отпора ваздуха,
- R_{yv} - попречна компонента силе отпора ваздуха,
- R_{zv} - вертикална компонента силе отпора ваздуха,
- M_{xv} - момент ваљањауслед аеродинамичких отпора,
- M_{yv} - момент галопирања услед аеродинамичких отпора и
- M_{zv} - момент пливања услед аеродинамичких отпора.



Слика 18. - Шема дејства аеродинамичких сила и момената на возило [4]

Слика 19 приказује утицај облика каросерије на величину коефицијента отпора облика возила.



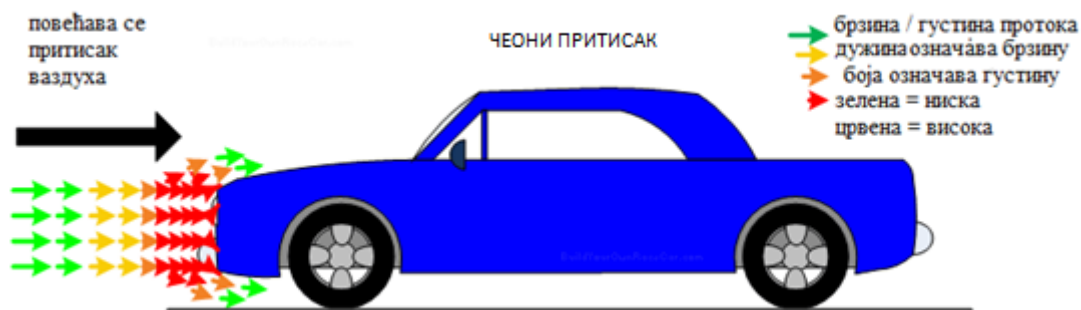
Слика 19. - Утицај промене облика каросерије на коефицијент отпора облика[4]

Сила отпора ваздуха се састоји углавном од три компоненте [8]:

1. силе чеоног удара или ефекта који ствара каросерија возила проласком кроз ваздух (отпор облика),
2. силе задњег вакуума или ефекта који ствара ваздух који не може да попуни „рупу“ која је остала после проласка каросерије возила и
3. силе у граничном слоју или ефекта силе површинског трења насталог услед спорог кретања ваздуха по површини каросерије возила.

2.2.1 Сила чеоног удара

Чеони удар ваздуха је изазван ваздухом који покушава да струји око предњег дела возила, као што је приказано на слици 20.



Слика 20. - Чеони удар ваздуха [8]

Док се милиони молекула ваздуха приближавају предњем делу аутомобила, почињу да се сабијају и на тај начин подижу ваздушни притисак испред аутомобила. Истовремено, молекули ваздуха који путују дуж бочних страна аутомобила налазе се под атмосферским притиском, односно нижим притиском у односу на молекуле са предње стране аутомобила.

Као код резервоара за ваздух, ако се отвори вентил ка атмосфери нижег притиска изван резервоара, молекули ваздуха ће природно тећи у подручје нижег притиска, на крају изједначавајући притисак унутар и изван резервоара. Иста правила важе за било које возило. Компримовани молекули ваздуха природно траже излаз из зоне високог притиска испред возила и налазе га око бокова, врха и дна возила као што је приказано на слици 20.

2.2.2 Сила задњег вакуума

Задњи вакуум узрокује „рупа“ која остаје у ваздуху кад возило прође кроз њега. Овај феномен се може сликовито приказати на слици 21. Кад се возило креће путем, кабасти облик каросерије лимузине ствара „рупу“ у ваздуху иза себе, а ваздух се убрзано креће око тела возила.

При већим брзинама, простор одмах иза задњег стакла и пртљажника је „празан“ или сличан вакууму. Ова празна подручја резултат су тога што молекули ваздуха не могу попунити „рупу“ онолико брзо колико брзо је возило ствара. Молекули ваздуха покушавају да напуне ово подручје, али је возило увек корак испред и, као резултат, континуирани вакуум усисава у смеру супротном смеру кретања возила.

Неспособност да се попуни „рупа“ који је оставило возило иза себе назива се и одвајање протока. То се односи само на део силе отпора ваздуха услед „задњег вакуума“ и има све већи негативан ефекат како се повећава брзина возила. У ствари, сила отпора ваздуха расте са квадратом брзине возила, тако да је потребно све више и више снаге да би се возило „прогурало“ кроз ваздух како његова брзина расте. Зато, када возило достигне велике брзине, постаје важно да се возило конструише тако да се ограниче подручја са одвајањем протока. Идеално је да се молекулима ваздуха

обезбеди време да прате контуру каросерије возила и да попуне „рупу“ коју оставља возило, његове гуме, ослањање и испупчења (огледала и слично).

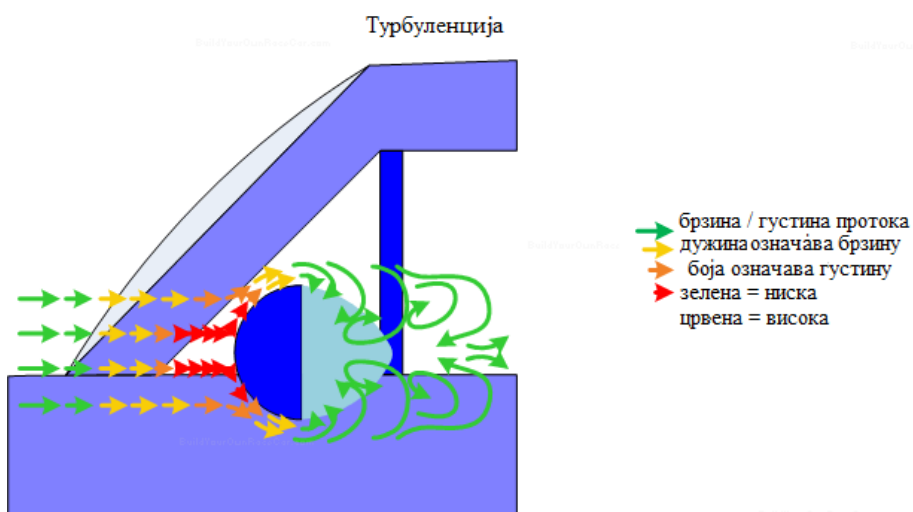


Слика 21. - Појава задњег вакуума [8]

Код тркачких аутомобила, може се видети да се задњи део возила протеже далеко иза задњих точкова и сужава гледано са стране или одозго. Овај додатни део каросерије омогућава да се молекули ваздуха несметано крећу назад у вакуум, дуж тела ка „рупи“ коју је оставила кабина возила и предњи део, уместо да морају да изненада напуне велики празан простор.

Сила створена задњим вакуумом премашује силу створену чеоним притиском, тако да постоји врло добар разлог да се минимализује обим вакуума створен на задњем делу возила.

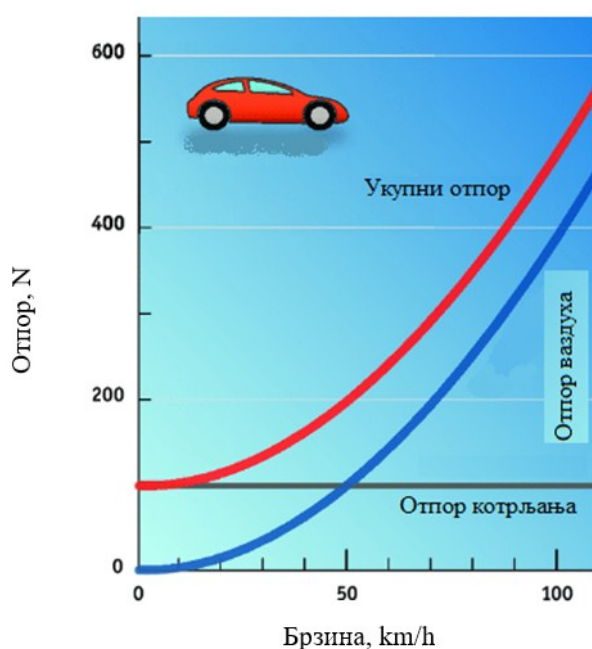
Одвајањем протока ваздуха од површине возила ствара се турбуленција. Када се одвоји, проток ваздуха постаје веома турбулентан и хаотичан у поређењу са глатким протоком на предњем делу возила. Ако се посматра избочење као што је огледало, слика 22, уочавају се одвајање протока и турбуленција. Проток ваздуха се одваја од равне стране огледала, која је окренута ка задњем крају возила.



Слика 22. - Турбуленција око испупчених делова каросерије возила [8]

Турбуленција коју је створило ово одвајање може да утиче на проток ваздуха ка деловима возила који се налазе иза огледала. На пример, усисни канали најбоље функционишу када ваздух који улази у њих глатко тече. Спојлери такође стварају далеко већу силу притиска на доле у случају мирног протока ваздуха преко њих. Зато, цело возило заиста треба бити оптимизовано како би се постигла најмања величина турбуленција ваздуха при великим брзинама.

Слика 23 приказује промену отпора котрљања и отпора ваздуха при повећању брзине кретања возила, код релативно лаког и лоше обликованог возила. Може се приметити да су код овог возила вредности обе врсте отпора једнаке при брзини од 50 km/h . Код тежих и/или боље обликованих возила, вредности оба отпора су једнаке при већим брзинама.



Слика 23. – Зависност отпора котрљања и отпора ваздуха од брзине [9]

Отпор кретања возила драматично расте при већим брзинама, због наглог пораста отпора ваздуха, што повећава и потрошњу горива при већим брзинама [9].

2.2.3 Коефицијент отпора ваздуха

Коефицијент отпора ваздуха је бездимензиона величина који се користи за одређивање отпора кретању објекта кроз ваздух.

Када је у питању возило, отпор ваздуха је сила којом околни ваздух одолева продору возила, тако да га успорава и на крају зауставља. Сама сила зависи од дизајна возила и његове брзине, тако да се отпор ваздуха повећава сразмерно повећању брзине. Сходно томе, ефекти отпора ваздуха осећају се више при већим брзинама, што значи да возила морају бити пројектована тако да се отпор ваздуха смањи у највећој могућој мери.

Већи коефицијент отпора ваздуха не утиче само на перформансе возила при великим брзинама. Што је већа његова вредност, то је теже контролисати возило које троши више горива.

Прорачун отпора ваздуха укључује сложену математичку формулу која узима у обзир брзину кретања возила, густину ваздуха, као и референтну површину (површину возила). Једна од компоненти која највише утиче на отпор ваздуха је облик предње стране возила. Прекомерно смањење отпора ваздуха приликом дизајнирања возила, међутим, може довести до нежељеног ефекта подизања возила, што негативно утиче на приањање точкова на подлогу.

Генерално, серијска возила имају коефицијент отпора ваздуха између 0,25 и 0,3, док су *SUV* модели по том питању лошији због „кутијастог“ облика каросерије, па њихов коефицијент отпора ваздуха се креће од 0,35 до 0,45.

Међу лаицима постоји мишљење да су возила високих перформанси попут возила Формуле 1 изузетно аеродинамична, али истина је другачија, јер је њихов коефицијент отпора ваздуха већи него код возила *Hummer* H2. Коефицијент отпора ваздуха возила Формуле 1 је између 0,7 и 1,1, зависно од поставке коју одабере тим, што наравно зависи и од конфигурације тркачке стазе. Коефицијент отпора ваздуха возила *Hummer* H2 износи око 0,57. Разлог за то је што су тркачким једноседима потребни високи вертикални аеродинамички притисци, да би што брже прошли кроз кривине.

Када је одређен за неко возило, коефицијент отпора ваздуха се односи искључиво на то возило, са датом опремом, а не на целу линију модела. На пример, тренутно најаеродинамичнији модел возила из серијске производње је *Mercedes-Benz CLA 180 Blue Efficiency* са коефицијентом отпора ваздуха 0,22. Ова цифра се не односи на све *CLA* моделе, већ само на поменућу верзију, опремљену посебним пакетом опреме. Свака модификација, као што је, на пример, замена браника мења вредност коефицијента отпора ваздуха.

Пет савремених модела возила са најнижим коефицијентом отпора ваздуха (пored *Mercedes-Benz CLA*) су: *BMW 520d Efficient Dynamics* (0,22), *Tesla Model 3* (0,23), *Alfa Romeo Giulia Advanced Efficiency* (0,23) и *Audi A4 2.0 TDI ultra* (0,23) [10].

2.3 Отпор нагиба пута

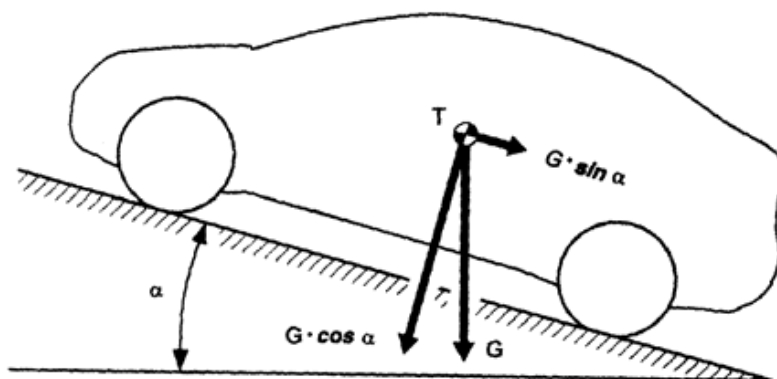
На слици 24 може се видети возило које се налази на путу са одређеним успоном (подужним углом нагиба).



Слика 24. – Возило на успону

Слика 25 приказује возило на успону са тежином возила, G , растављеном на компоненту управну на пут и компоненту паралелну путу. Јасно је да компонента паралелна путу представља силу отпора успона, R_α :

$$R_\alpha = G \cdot \sin \alpha. \quad (2.18)$$



Слика 25. - Растављање тежине возила на компоненте [11]

За мале вредности угла нагиба пута, α , важи да је $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$, па се могу користити вредности за коефицијент успона (у процентима) $p = \operatorname{tg} \alpha$.

Отпор успона и отпор котрљања одређени су карактеристиком пута по коме се возило креће, па се њихов збир назива отпором пута, R_u :

$$R_u = G \cdot f \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha = G \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = G \cdot u, \quad (2.19)$$

где је коефицијент отпора пута, u , једнак: $u = f + p$.

Веза између нагиба пута, p , израженог у процентима (%) и угла нагиба пута, α , приказана је изразом (2.20):

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{p}{100}. \quad (2.20)$$

Коначан израз за отпор нагиба, уз коришћење знака „+“ ако се возило креће на узбрдици и знака „-“ ако се креће на низбрдици, гласи [11]:

$$R_u = \pm G \cdot \frac{p}{100}. \quad (2.21)$$

Успон од 2,5% на дугој деоници изазива гужву које у саобраћајном току на успонима узрокују теретна возила. На дугачким успонима већим од 4% треба на сваких 100 m висинске разлике предвидети заустављање возила. Успони већи од 10° могу се применити ако се докаже да је већи успон оправдан.

У табели 1 дати су максимални подужни нагиби зависно од типа пута и максималне дозвољене брзине кретања [11].

Табела 1. - Категорије и максимални нагиби путева [11]

Подручје	Врста пута	Максимална брзина кретања, kmh ⁻¹	Максимални нагиб пута, %
Пут ван насељене области	Локални пут	40	10
	Регионални пут	60	6,5
	Магистрални пут	80	5,0
		100	4,5
	Ауто-пут	100	4,5
		120	4,0
		140	4,0
Насељено место	Улица са више трака	-	5-6
	Граничне улице	-	10
	Улице у стамбеној четврти	-	10
Планински пут	-	-	30

2.4 Отпор инерцијалних сила

Отпор инерцијалних сила, R_i , последица је другог Њутновог закона. Приликом убрзавања возила, потребно је да се убрзају транслаторне и обртне масе како би се омогућило укупно убрзање возила [4]:

$$R_i = R'_i + R''_i, \quad (2.22)$$

где су:

- R'_i -отпор убрзању транслаторних маса возила и
- R''_i - отпор убрзању ротирајућих маса возила.

За отпор R'_i се може написати:

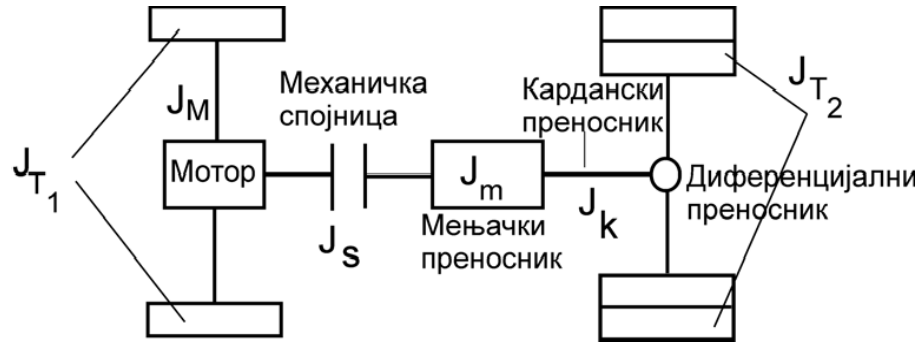
$$R'_i = m \cdot j = \frac{G}{g} \cdot j, \quad (2.23)$$

где су:

- $j = \frac{dv}{dt}$ -убрзање возила, m/s²,
- m - маса возила, kg,
- G - тежина возила, N.

Системи ротирајућих маса возила могу се свести на две битне ротирајуће масе, слика 26:

- точкови возила и ротирајуће масе везане за тачкове са поларним моментом инерције тачка, J_T и
- замајак мотора и ротирајуће масе везане за замајак са поларним моментом инерције, J_Z .



Слика 26. - Шема преноса снаге и обртног момента [4]

На основу тога, може се написати израз (2.24) за величину обртног момента, M_i'' , који се супротставља ротацији ротирајућих маса:

$$M_i'' = J_T \cdot z \cdot \frac{d\omega_T}{dt} + J_z \cdot i_T \cdot \frac{d\omega_z}{dt} \cdot \eta_T, \quad (2.24)$$

где су:

- z – број тачкова,
- i_T – преносни однос између мотора (замајца) и тачка, $i_T = \frac{n_e}{n_p}$, где су n_e и n_p – бројеви обртаја замајца и тачка,
- $\frac{d\omega_T}{dt}$ – угаони убрзање тачка,
- $\frac{d\omega_z}{dt}$ – угаоно убрзање замајца,
- η_T – степен корисног дејства система за пренос снаге.

С обзиром да обимна сила на тачку, R_i'' , која је једнака отпору убрзања ротирајућих маса, износи:

$$R_i'' = \frac{M_i''}{r_d}. \quad (2.25)$$

Из претходних израза следи:

$$R_i'' = J_T \cdot \frac{z}{r_d} \cdot \frac{d\omega_T}{dt} + J_z \cdot \frac{i_T}{r_d} \cdot \frac{d\omega_z}{dt} \cdot \eta_T. \quad (2.26)$$

Између претходно поменутих кинематских величина постоје следеће релације:

$$v = \omega_T \cdot r_f; \quad \frac{dv}{dt} = r_f \cdot \frac{d\omega_T}{dt}; \quad \frac{d\omega_T}{dt} = \frac{j}{r_f} \quad (2.27)$$

и

$$\omega_z = \omega_T \cdot i_T; \quad \frac{d\omega_z}{dt} = i_T \cdot \frac{d\omega_T}{dt}; \quad \frac{d\omega_z}{dt} = i_T \cdot \frac{j}{r_f}. \quad (2.28)$$

Користећи релације(2.27) и (2.28), под претпоставком да је полупречник котрљања точка, r_f , једнак динамичком полупречнику точка, r_d , односно $r_f = r_d$ (чисто котрљање), може се написати следећи израз за силу отпора R_i'' :

$$R_i'' = J_T \cdot \frac{z \cdot j}{r_d^2} + J_z \cdot \frac{i_T^2 \cdot j}{r_d^2} \cdot \eta_T, \quad (2.29)$$

односно:

$$R_i'' = j \cdot \left(\frac{J_T \cdot z}{r_d^2} + \frac{J_z \cdot \eta_T}{r_d^2} \cdot i_T^2 \right). \quad (2.30)$$

Сада се укупан отпор инерцијалних сила, R_i , на бази релација (2.23) и (2.30) изражава:

$$R_i = \frac{G}{g} \cdot j + \frac{J_T \cdot z}{r_d^2} \cdot j + \frac{J_z \cdot \eta_T \cdot i_T^2}{r_d^2} \cdot j., \quad (2.31)$$

У пракси, за израчунавање отпора убрзања се обично примењује следећи облик једначине (2.31):

$$R_i = \frac{G}{g} \cdot j \cdot \left(1 + \frac{g}{G} \cdot \frac{J_T \cdot z}{r_d^2} + \frac{g}{G} \cdot \frac{J_z \cdot \eta_T \cdot i_T^2}{r_d^2} \right), \quad (2.32)$$

или:

$$R_i = \frac{G}{g} \cdot j \cdot \delta, \quad (2.33)$$

где је δ - коефицијент утицаја ротирајућих (обртних) маса, који зависи од конструктивних параметара возила и масе возила и израчунава се према следећем обрасцу:

$$\delta = 1 + \frac{g}{G} \cdot \frac{J_T \cdot z}{r_d^2} + \frac{g}{G} \cdot \frac{J_z \cdot \eta_T \cdot i_T^2}{r_d^2} \quad (2.34)$$

За тачне прорачуне, потребно је располагати подацима о величинама момената инерције и преносних односа система за пренос снаге. За оријентационе прорачуне, у табели 2 су дати просечни подаци за неке типове возила [4].

Табела 2. - Оријентационе вредности за прорачун силе отпора убрзања, R_i [4]

Возило	Момент инерције точка и маса везаних за точак, $J_T, N \cdot m \cdot s^2$	Момент инерције замајца и маса везаних за замајац, $J_z, N \cdot m \cdot s^2$	Распон преносних односа система за пренос снаге, $i_{Tmax} - i_{Tmin}$
Путнички аутомобил	0,75 - 1,50	0,15 - 0,30	20 - 4,0
Аутобуси	10,00 - 15,00	1,50 - 3,00	40 - 4,0
Камиони, лаки Камиони. тешки	2,00 - 3,50 11,00 - 20,00	0,50 - 1,00 1,50 - 3,00	40 - 4,0 60 - 3,5

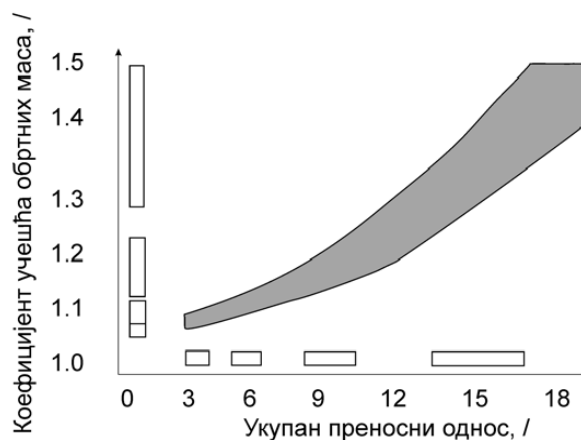
За приближне прорачуне може се користити и једначина (2.35):

$$\delta = 1,03 + a \cdot i_M^2, \quad (2.35)$$

где су:

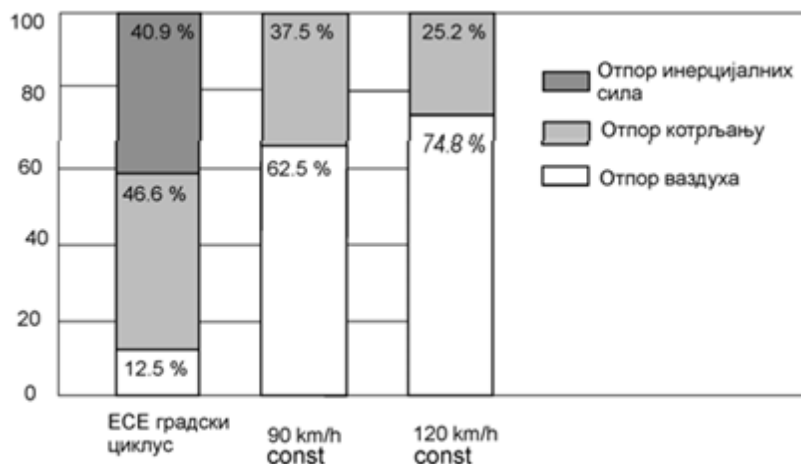
- a - коефицијент ($a = 0,02 \div 0,05$) и
- i_M - преносни однос у мењачком преноснику.

На слици 27 приказана је зависност коефицијента обртних маса путничких возила од укупног преносног односа система за пренос снаге.

**Слика 27.** - Коефицијент учешћа обртних маса путничких возила [4]

Отпор инерцијалних сила смањује се код савремених возила смањењем масе возила, посебно применом нових, лакших материјала високих чврстоћа.

Слика 28 илуструје уделе различитих отпора кретања у укупном отпору кретања, при различитим циклусима испитивања возила без приколице. Види се да при великим брзинама кретања, преовладава отпор ваздуха, док се са смањењем брзине кретања повећава удео отпора котрљања.



Слика 28. - Отпори кретању возила [4]

2.5 Отпор приколице

На слици 29 приказано је возило са приколицом на које делује додатна сила, односно отпор приколице, R_p .



Слика 29 – Возило са приколицом [12]

Обично је отпор приколице у прорачуну разматран као део отпора кретању целог возила. То је оправдано када се при рачунању отпора котрљања, R_f , отпора успона (нагиба), R_α и отпора убрзања, R_i , дода маса приколице, па се директно добија величина отпора кретања возила са приколицом.

Отпор ваздуха за возило са приколицом, повећава се за око 30% у односу на возило без приколице. Наравно, овде треба имати доступне податке о мерењу коефицијента отпора облика за возило са приколицом, користећи експерименталне податке.

Изузетно, ако се израчуна укупна маса возила које вуче радну машину, тада је за силу отпора приколице препоручљиво узети силу на потезници, R_p , која се одређује мерењем или оријентацијом на основу података о радној машини.

Када возило вуче приколицу, јавља се отпор на потезници, R_p , који представља укупан отпор кретању приколице. Уопштено говорећи, укупан отпор кретању приколице је [4]:

$$R_p = R_{fp} + R_{\alpha p} + R_{vp} + R_{ip}, \quad (2.36)$$

где су:

- R_p - отпор на потезници,
- R_{fp} - отпор котрљања приколице,
- $R_{\alpha p}$ - отпор нагиба пута приколице,
- R_{vp} - отпор ваздуха приколице и
- R_{ip} - отпор инерцијалних сила приколице.

Израз (2.36) важи под претпоставком да сила отпора на потезници делује у хоризонталној равни вучног возила. У другом случају, треба узети у обзир угао нагиба потезнице у вертикалној равни.

Отпори кретању приколице добијају се на потпуно исти начин као и код возила. Изузетак је отпор ваздуха, с обзиром на измењене услове вртложења ваздуха. Обично се отпор ваздуха приколице, R_{vp} , занемарује, а овај утицај се компензује повећањем отпора ваздуха вучног возила за 15-30% [4].

3. Унутрашњи отпори при кретању возила

При преносу снаге од мотора до погонских точкова, сваки преносник појединачно у целом ланцу (спојница, мењач, разделник погона, карданско вратило, главни преносник са диференцијалом и, евентуално, бочни преносници) има своје губитке, који се у укупном билансу своде на губитке у систему преноса снаге. Јасно је да се тим губицима одузима снага од укупне снаге мотора, тако да је снага на погонским точковима [5]:

$$P_t = P_M - P_T, \quad (3.1)$$

где су:

- P_t – снага која се губи на савлађивање отпора трансмисије
- P_M – снага на излазном вратилу мотора,
- P_T – снага на погонском точку.

Степен корисности система за пренос снаге, η_T , је:

$$\eta_T = \frac{P_t}{P_M} = \eta_S \cdot \eta_m \cdot \eta_r \cdot \eta_k \cdot \eta_{pm} \cdot \eta_{bp}, \quad (3.2)$$

при чему су:

- η_T - степен корисности система за пренос снаге (трансмисије),
- η_S - степен корисности спојнице, који износи за фрикциону спојницу $\eta_S=1$, а за хидрауличну $\eta_{Sh}=0,96-0,98$,
- η_m - степен корисности мењача, који износи за директни пренос $\eta_m=0,98-0,99$, а за остале преносе $\eta_m=0,96-0,98$,
- η_r - степен корисности разделника снаге, $\eta_r=0,94-0,97$,
- η_k - степен корисности карданског вратила, $\eta_k=0,98-0,99$
- η_{pm} - степен корисног погонског моста (за конусно-тањирасти зупчаник са кружним озубљењем $\eta_{pm}=0,94-0,95$, за конусно-тањирасти зупчаник са хипоидним озубљењем $\eta_{pm}=0,97-0,98$, за погонски мост са двоструком редукцијом $\eta_{pm}=0,9-0,95$),
- η_{bp} – степен корисничког бочног преносника $\eta_{bp}=0,97-0,99$.

Ниже вредности код степена корисности разделника снаге се узимају за случај када је разделник са редуктором. Код степена корисности карданског вратила, приказане границе важе за радне углове од 0 до 10° [5].

Степени корисности појединачних преносника снаге зависе од више фактора, тако да их је тешко обухватити једним изразом, те се с тога усвајају на основу просечних вредности. Уколико у систему постоји више преносника, као на пример више карданских вратила, више бочних преносника или погонских мостова, сваки од њих се појединачно узима у рачун са својим степеном корисности. Неке оријентационе вредности степена корисности система за пренос снаге су следеће [5]:

- за путничка возила - $\eta_T=0,92-0,97$,
- за теретна возила - $\eta_T=0,88-0,95$,
- за теренска возила високих проходности - $\eta_T=0,85-0,92$.

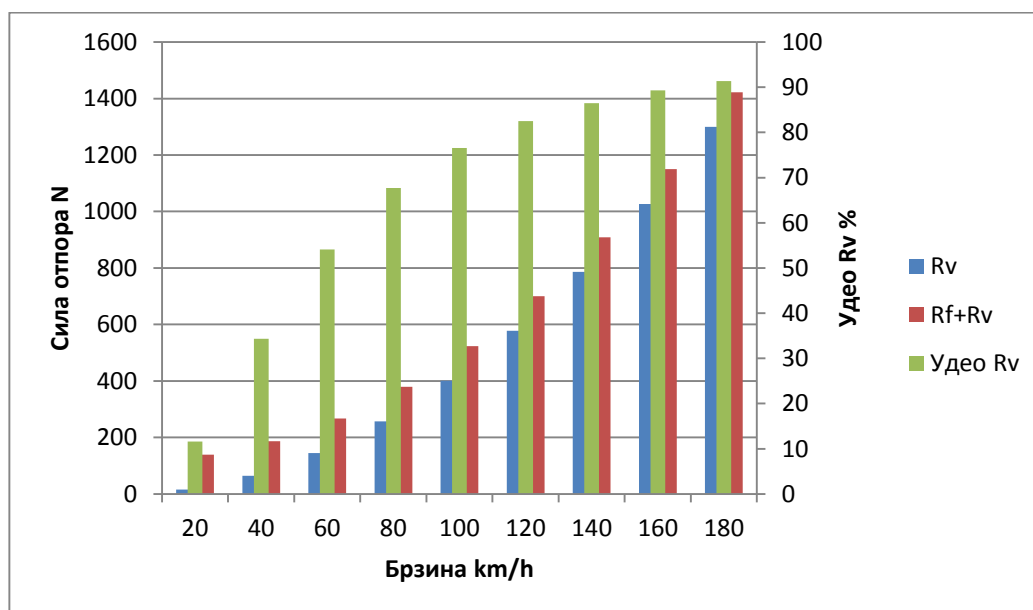
4. Приказ и анализа дијаграма отпора кретању возила у зависности од утицајних фактора

Како би се стекла боља слика о отпорима кретању, њиховим уделима, као и о утицајним факторима на отпоре, на следећим дијаграмима биће графички приказани отпори кретању путничког возила у различитим условима кретања. Коришћени подаци у прорачунима су приказани у Табели 3.

Табела 3. - Подаци коришћени за израчунавање отпора

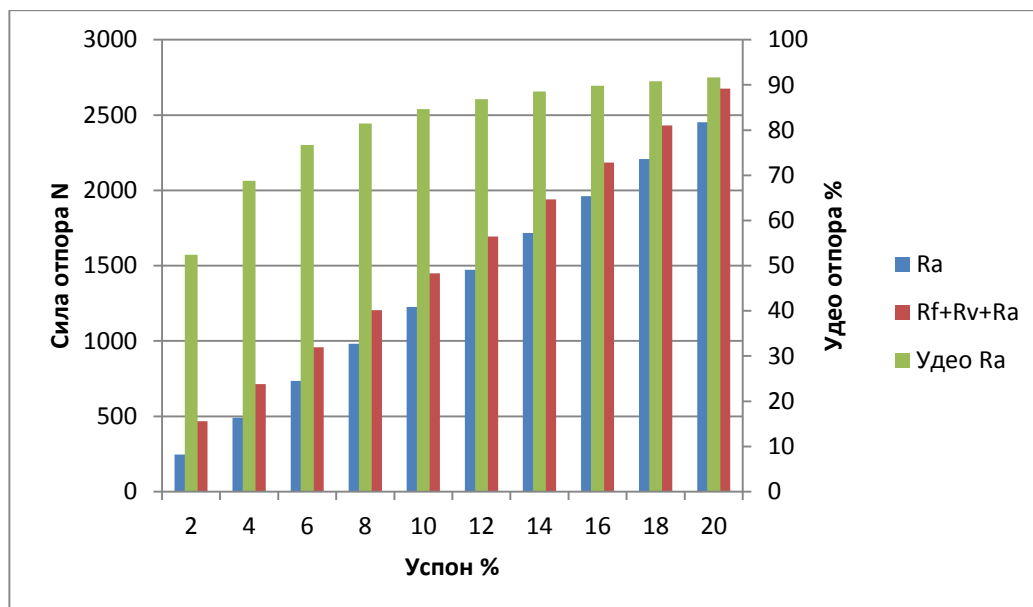
Маса возила	$m = 1250 \text{ kg}$
Коефицијент учешћа обртних маса	$\delta = 1,1$
Коефицијент отпора ваздуха	$C_x = 0,39$
Чеона површина возила	$A = 2,14 \text{ m}^2$
Коефицијент отпора котрљања	$f_0 = 0,01$
Убрзање возила	$j = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Густина ваздуха	$\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Гравитационо убрзање	$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

На слици 30 се могу видети вредности појединачних отпора, који су присутни при кретању путничког аутомобила по равном путу, као и удео најдоминантнијег отпора у овом случају кретања, а то је отпор ваздуха. Као што се може видети са дијаграма, удео отпора ваздуха драстично расте са порастом брзине кретања.



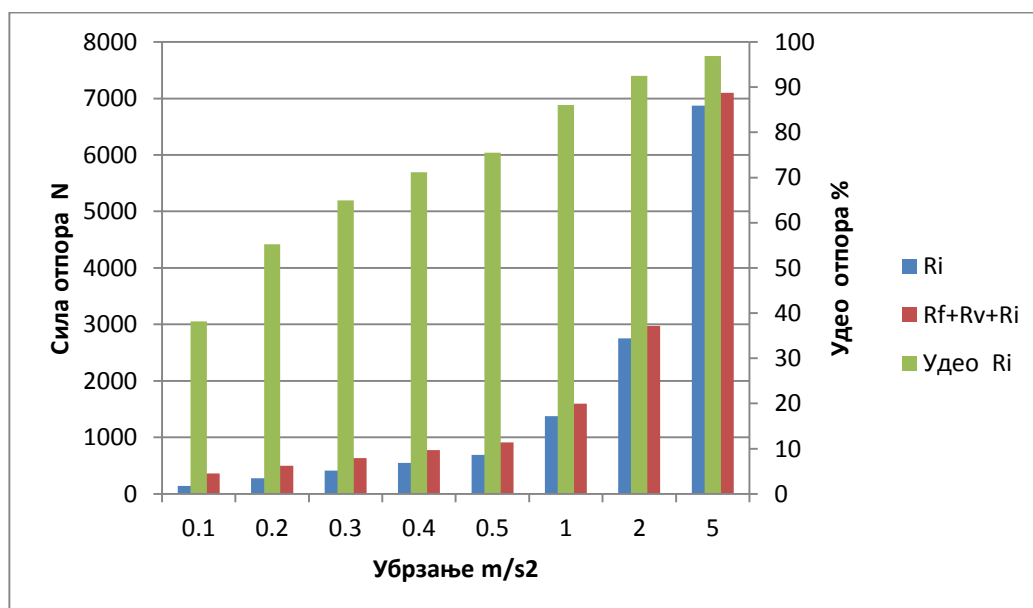
Слика 30. - Отпори кретању возила по равном путу за различите константне брзине кретања

Слика 31 представља отпоре кретању путничког аутомобила који се креће на успону константном брзином од $50 \frac{km}{h}$. Отпор ваздуха и отпор котрљања се овом случају могу занемарити у односу на отпор нагиба пута, чији удео у укупном отпору кретања није мањи од 50% , чак и при малим вредностима успона.



Слика 31 -Отпори кретању возила које се креће константном брзином по путу са различитим успонима

На слици 32 су приказани отпори кретању путничког аутомобила који се креће на равном путу са различитим убрзањима при почетној брзини од $50 \frac{km}{h}$. Јасно се види да је отпор убрзања убедљиво најдоминантнији и да његов удео расте са повећањем вредности убрзања.



Слика 32. - Отпори кретању возила које се креће по равном путу са различитим убрзањима од исте почетне брзине кретања

5. Закључак

Приликом кретања моторног возила јављају се спољашњи и унутрашњи отпори који теже да успоре и зауставе возило. Поједине отпоре је могуће смањити правилним избором облика каросерије, смањењем масе аутомобила или избором пнеуматика новије генерације.

Отпор котрљања је присутан у свакој могућој ситуацији кретања возила и његова вредност у највећој мери зависи од коефицијента отпора котрљања, на који утичу конструкција пнеуматика, димензије пнеуматика, притисак ваздуха у пнеуматику итд.

Отпор ваздуха представља силе које се супротстављају кретању возила кроз околни ваздух. Вредност силе отпора ваздуха је при малим брзинама кретања занемарљива док је при брзинама већим од 60 kmh^{-1} доминантна. Даљим растом брзине повећава се и удео отпора ваздуха.

Отпор нагиба пута је присутан при кретању возила на успону и у таквим ситуацијама је вредност отпор нагиба пута далеко већа од осталих отпора.

При свакој промени брзине кретања возила јавља се отпор инерцијалних сила и у тренуцима када је присутан има највећи удео у укупном отпору кретања возила.

Отпор приколице се рачуна на исти начин као и за путнички аутомобил, са тим да се отпор ваздуха приколице занемарује, а возилу које вуче приколицу отпор ваздуха повећава за 15-30%.

Унутрашњи отпори се јављају при преносу снаге и обртног момента од погонског агрегата до погонских точкова и као такви су неизоставни јер се возило не може кретати без доведеног обртног момента на погонске точкове.

6. Литература

- [1] *Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају*, Београд: Службени гласник РС, бр. 40/2012, 102/2012, 19/2013, 41/2013, 102/2014, 41/2015, 78/2015, 111/2015, 14/2016, 108/2016, 7/2017 - испр., 63/2017, 45/2018, 70/2018, 95/2018, 104/2018 и 93/2019.
- [2] Јанковић, А. *Динамика аутомобила*. Крагујевац: Машински факултет у Крагујевцу, 2008.
- [3] Physics Stack Exchange. Rolling resistance and friction force in FBDs.[Online] 2020. [Cited: 3 July 2020] <https://physics.stackexchange.com/questions/353340/rolling-resistance-and-friction-force-in-fbds>.
- [4] Демич, М., Лукић, Ј. *Теорија кретања моторних возила*. Крагујевац: Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [5] Кнор, П. *Динамика моторних возила - скрипта*. Сарајево: Машински факултет Сарајево, 2005/2006.
- [6] Pro Car Mechanics. Rolling resistance and impact on car performance.[Online] 2018. [Cited: 21 June 2020] <https://procarmechanics.com/rolling-resistance-and-impact-on-car-performance/>.
- [7] Genta, G., Morello, L. *The Automotive Chassis, Vol. 2: System Design*. Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V. 2009.
- [8] Build Your Own Race Car! Car Aerodynamics Basics and How-To Design Tips. . [Online] 2020. [Cited: 20 July 2020] <https://www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/>.
- [9] Hermans, J. *Energy and transportation*. EDP Sciences, 2015. Proc. of EPJ Web of Conferences, Vol. 98, Paper No. 07001, pp. 1-18.
- [10] Cordes, R. Große Cw-Werte-Sammlung von Autos und ... zum Mitmachen -Cw-Werte von 1521 Fahrzeugen. [Online] 2020. [Cited: 29 June 2020] <http://rc.opelgt.org/indexcw.php>.
- [11] Симић, Д. *Моторна возила*. Београд: Научна књига, 1988.
- [12] B+E Trailer Training, [Online] 2020. [Cited: 4 July 2020] <https://www.amcdriiving.uk/B+E.php>.