

**Факултет инжењерских наука**

**Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Машинско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Моторна возила и мотори**

**Предмет: Моторна возила 1**

**Број индекса: 502/2011**

**Јован Р. Живковић**

## **Отпор ваздуха моторних возила**

**завршни рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. Др Јованка Лукић, проф. - ментор**

**2. \_\_\_\_\_**

**3. \_\_\_\_\_**

**Датум одбране: \_\_\_\_\_**

**Оцена: \_\_\_\_\_**

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

Опише и анализира:

отпор ваздуха и утицајне параметре према категорији возила

Препоручена литература:

[1] Демич М., Лукић Ј.: Теорија кретања моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.

[2] Симић Д.: Моторна возила, Научна књига, Београд, 1988.

[3] Wong J. Y. Theory of the ground vehicles, John Willey & Sons, 2001.

Крагујевац, 05.03.2014.

ментор:

Др Јованка Лукић, проф.

## РЕЗИМЕ

---

Приликом кретања возила јављају се отпори који се супростављају његовом кретању. Отпори који се супростављају кретању су: отпор котрљања, отпор инерцијалних сила, отпор нагиба пута, радни отпор, отпор прикључног возила и отпор ваздуха. У овом раду ће се детаљно анализирати отпор ваздуха и његови утицајни параметри. У уводном делу описан је историјски развој моторних возила, подела моторних возила, основни системи на возилу и тенденције у развоју моторних возила. Затим су у другом поглављу описани сви отпори који се јављају приликом кретања возила. У трећем поглављу је детаљно описан отпор ваздуха са силама и моментима који на њега утичу, такође описани су и остали фактори који утичу на отпор ваздуха заједно са коефицијентом отпора облика. У завршним делу рада разматране су методе које се тичу испитивања аеродинамичности моторних возила, као и опрема, односно услови под којима се врше испитивања.

**Кључне речи:** моторно возило, отпор ваздуха, аеродинамичност.

## ABSTRACT

---

During the motion of vehicles it can be seen that resistances are opposing their motion. Resistances that are opposing the motion are: rolling resistance, grade resistance, labour resistance, drawbar load and aerodynamic resistance. In this paper will be detailed analysed aerodynamic resistance and its influence parameters. In introduction part it is described historical development of motor vehicles, partition, basic systems and tendentions of vehicles development. In the second chapter are described all resistances that are manifest during vehicles motion. In third chapter aerodynamic resistances is detailed described with their forces and torques, also is written about other factors that have influence on aerodynamic resistance with coefficient. At the end of seminar paper it will be considerate about methods that are pertain to researches of aerodynamics of motor vehicles also conditions of research.

**Key words:** motor vehicles, aerodynamic resistance, aerodynamics

## Садржај

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Увод.....                                                   | 3  |
| 1.1 Историјски развој моторних возила .....                    | 3  |
| 1.2 Подела моторних возила .....                               | 7  |
| 1.3 Основни системи на возилу .....                            | 8  |
| 1.4 Савремена возила и тенденције у развоју.....               | 14 |
| 2. Отпори кретању возила .....                                 | 15 |
| 2.1 Отпор котрљања .....                                       | 15 |
| 2.2 Сила отпора нагиба пута .....                              | 17 |
| 2.3 Отпор инерцијалних сила.....                               | 18 |
| 2.4 Отпори прикључних возила .....                             | 21 |
| 2.5 Радни отпори .....                                         | 22 |
| 3. Отпор ваздуха и утицајни параметри .....                    | 25 |
| 3.1 Уводна разматрања .....                                    | 25 |
| 3.2 Аеродинамичке силе и моменти .....                         | 26 |
| 3.3 Фактори који утичу на отпор ваздуха .....                  | 29 |
| 3.4 Коефицијент отпора облика .....                            | 33 |
| 4. Испитивање отпора ваздуха.....                              | 39 |
| 4.1 Испитивање у аеротунелима .....                            | 39 |
| 4.2 Испитивање у аеротунелима на моделима мањих димензија..... | 41 |
| 4.3 Метода слободног заустављања .....                         | 43 |
| 5. Закључак .....                                              | 45 |
| Литература.....                                                | 46 |

# 1. Увод

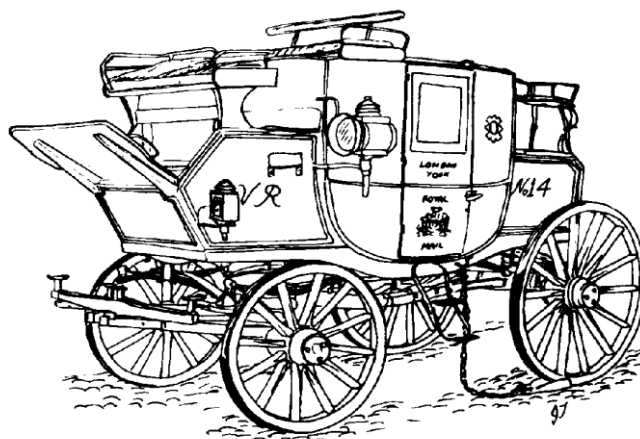
## 1.1 Историјски развој моторних возила

Историја возила је почела још 6000 година п.н.е. и то проналаском точка. Откриће точка је најважније откриће за човечанство. На кочијама Сумераца (2700 година п.н.е.) постојали су дрвени точкови ојачани металним тракама везани за две осовине, слика 1.1. Метално ојачање је продужавало век трајања точка. Лежајеви који су постављени на точковима подмазивани су уљем или машћу животињског порекла. У периоду између 1800.-800. године п.н.е. први пут је примењена предња управљачка осовина као центар заокретања возила.



Слика 1.1 Кочије сумераца, 2700 година п.н.е. [14]

Стари Римљани су одвојили шасију од возила како би побољшали удобност. Ојачали су шасију кожним ремењем да би смањили утицај пута. То је било прво ослањање. Прво возило са лиснатим опругама које је имало управљање и кочнице појавило се у десетом веку у Централној Европи, слика 1.2. Ово возило (кочије које су вукли коњи) кретало се брзином од преко 30 km/h. Лиснате опруге су поред улоге еластичног елемента, имале и улогу вођица. Возило се кочило преко ланчаног преносника и имало је ослоњену и неослоњену масу.

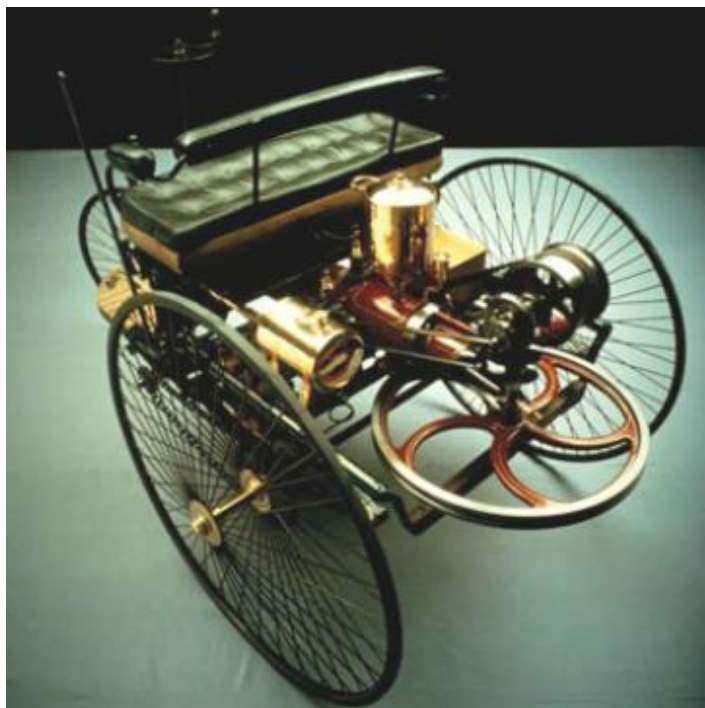


Слика 1.2. Кочије које су имале системе ослањања, управљања, кочења. [14]

Током 18. века осцилаторна удобност је постала значајан захтев и појава трења између листова опруга се користила за пригушење осцилација. Како су лиснате опруге истовремено биле и вођице, престала је потреба да се уграђује ослона греда између осовина.

Пад Западног римског царства као и развој железнице утицао је на то да путеве које су изградили Римљани запусте и знатно економичније је било користити железницу за транспорт робе и људи. Међутим развој нових подлога за путеве (макадам, *MacAdam*), примена назубљених точкова Волтера Хенока (*Walter Hancock*, 1830.) и проналазак пнеуматског точка (Данлоп, *Dunlop*, 1888.) су били услови за удобнију и бржу вожњу по друмовима. Откриће зглобног управљања, Георга Ланкеншпенгера (*George Lankensperger*) и Рудолфа Акермана (*Rudolph Ackermann*), 1816. године, унело је револуцију у развоју аутомобила. Проналазак се заснивао на томе да два управљачка точка међусобно повезани крутом везом дају исти угао заокретања за оба точка што се данас користи као познати *Акерманов принцип*.

У 18. веку су се појавила возила са сопственим парним погоном. За то су заслужни проналасци: 1769. године Кињоа (*Nicolas Joseph Cugnot*), 1784. године Џејмса Вата и Ричарда Тревитика, (*James Watt*, *Richard Trevithick*, 1802. године). Значајан помак у развоју моторних возила имала су открића четвортактних мотора Аугуста Отоа, Готиба Дајмлера, Вилхелма Мајбаха (1876. године, (*August Otto*, *Gottlieb Daimler*, *Wilhelm Maybach*) и примена бензина као погонског горива. Готиб Дајмлер (1883. године) и Карл Бенц (*Karl Benz*, 1885. године) конструисали су прво моторно возило које је погонио мотор са унутрашњим сагоревањем, слика 1.3.



**Слика 1.3.** Први аутомобил (Карл Бенц, 1885). [5]

Радови истраживача Волта, Клајста, Стрита и ван Хелмонта у 17. и 18. веку (A. Volta, E.G.Kleist, R. Street, J.B. van Hlemont) омогућили су Исаку де Ривазу (Isak de Rivazzu) да 1807. године први патентира возило које је погонио мотор са унутрашњим сагоревањем. Као погонско гориво коришћен је водоник. Нажалост овај мотор никад није прорадио због тешкоћа са формирањем смеше водоника и ваздуха у унапред дефинисаном односу за сигурно паљење. Истраживања се настављају у 19. веку (W. Gecil, S.Brown), која су праћена великим неповерењем према моторима са унутрашњим сагоревањем све до тридесетих година прошлог века, Карно, Далтон, Хелмхолц (C. Karnot, Dalton, H. Helmholtz), када се наставља интензиван рад на овом развоју Рајт, Барнет, Дрејк (W. Wright, W. Barnet, A. Drake).

Прекретница у развоју моторних возила настаје 1858. и 1860. године када је у Француској Леноар (Jean Joseph Etienne Lenoir) израдио свој први гасни двотактни мотор са електричним паљењем смеше, који је као гориво користио течни нафтни гас. Степен искоришћења тог мотора износио је свега 3%. У Француској 1862. године Рош (Alphonse Beau Rochas) патентира четворотактни мотор са предходним сабијањем смеше, чији је степен искоришћења износио око 15%.

Прво возило са двотактним мотором који је користио бензин израдио је Маркус (Marcus) у Немачкој 1875. године, а слична возила се израђују око 1883. године Деламар (Delamare) и Девубил (Deboutteville) у Француској.

Даљи допринос у развоју моторних возила везан је за истраживања Дајмлера, Отоа, Мајбаха и Бенца у периоду између 1885. и 1900. године када је она добила са данашњег аспекта своје препознатљиве обресе. Бенц израђује 1886. године аутомобил масе 300 килограма, чиме је постављена основа за развој путничких моторних возила. Мотор је имао водено хлађење и батеријско паљење смеше, а карбуратор се додатно загревао издувним гасовима чиме је омогућено боље формирање смеше лаког бензина и ваздуха.

После првих резултата у Немачкој, почиње и нагли развој аутомобилске индустрије у Француској (Panhard, Levassor, Peugeot, Bolle, Renault). Карактеристике тадашњих возила су биле: брзина 20-45 km/h, снага мотора до око 21 kW максимално, при око 2000 min<sup>-1</sup>. Почетком 20-ог века почиње и развој индустрије моторних возила у Енглеској (Lancaster, Napier, Rolls).

У Италији се после 1893. године ради интензивније на развоју моторних возила (Bernandi, Lanza, Martino) а Ањели (Agneli) 1890. године формира Фиат у Торину.

У САД су у 19. веку постигнуту занемарљиви резултати на развоју моторних возила, а што се објашњава лошим стањем путева. Значајније резултате је имао Хенри Форд (Henrry Ford) када 1892. године израђује свој први аутомобил и 1903. године оснива своју фабрику Џенерал Моторс (General Motors). Већ првих деценија прошлог века САД постају водећа сила у производњи моторних возила. [1]

У трећој деценији 20. века почиње нагли развој аутомобилске индустрије па се готово сваке године нешто догађало са аспекта иновација, па су у остатку овог поглавља догађаји наведени хронолошки.

1923. Из производње излази теретно возило са дизел мотором Бенц-Ман (*Benz- Man*).
1926. Готиб Дајмлер и Карл Бенц спајају своје фирме и почиње производња возила под именом Дајмлер Бенц (*Daimler Benz*).
1932. У Немачкој почиње са радом фирма (*Auto Union*) спајањем фирми (*Wanderer, Audi, Horch, DKW*). Ова фирма у другој половини 20. века, заједно са фирмом (*NSU*) бива претопљена у концерн (*Wolks Wagen*).
1932. Манфред вон Браухич (*Manfred von Brauchitch*) тркачким аутомобилом под именом (*Mercedes SSKL*) који је погођен бензинским мотором са унутршњим сагоревањем са компресором, постиже брзину од 194,4 km/h.
1936. Фирма Дајмлер Бенц почиње производњу аутомобила са дизел мотором.
1936. Професор Ледвинка у фабрици Татра (*Tatra*) из Чехословачке конструише камион са независно ослоњеним точковима.
1938. У Немачкој, у фирми Фолксваген (*Wolkswagen*), Фердинанд Порше (*Ferdinand Porsche*) конструише аутомобил бубу (*Käfer*) са основним циљем да буде јефтина и доступна свима.
- У годинама пред Други светски рат и првим годинама рата интензивно су коришћена теретна возила са ото моторима, која су користила генераторски гас. Почетком Другог светског рата, комплетан развој возила посвећен је возилима за ратне намене, те настају возила са погоном на сва четири точка, возила са гусеничним погоном а управљање помоћу точкова и слично.
1950. У фабрици Ровер (*Rover*) Енглеска конструише се возило са гасном турбином.
1954. У фабрици Цитроен у Француској, серијски је произведено возило са хидропнеуматским огибљењем и подешавањем висине.
- 1955/56. Уграђује се дизел мотор са директним убризгавањем на теретна возила и аутобусе.
1959. Феликс Ванкел (*Felix Wankel*) патентира свој мотор са ротационим клиповима касније назван Ванкел мотор.
1961. Први пропис у Америци такозвани калифорнијски тест о дозвољеном садржају штетних компонената у издувним гасовима возила.
1963. Фирма (*NSU*) у своје серијско путничко возило К-80 почиње уградњу ванкел мотора запремине 500 cm<sup>3</sup>, 37 kW. Возило развија брзину од 153 km/h.
1965. Увођење прописа о мерама сигурности на возилима у САД.
- 1971/72. У Немачкој презентирано експериментално возило са аспекта сигурности путника, такозвано *сигурно* возило.
1975. Амерички прописи о максималној потрошњи горива за возила појединих категорија.
1980. Од ове године почиње усавршавање конструкција пре свега са аспекта безбедности возила и путника, уз екстремно брзо увођење електронских система у возила (*ABS, ASR, EDS*), чиме некада искључиво механичка машина постаје сложенији мехатронички систем.
1995. На салону аутомобила у Токију, јапанска фирма Тојота (*Toyota*) излаже прототип возила са хибридним погоном (електромотор + мотор СУС), који се могу смењивати или допуњавати у погону.[4]

## 1.2 Подела моторних возила

Према SRPS M.N0.001 (бивши JUS M.N0.001)\* под општим појмом возила, подразумевају се копнена мобилна средства, способна да се крећу:

- друмовима (друмска возила),
- шинама (шинска возила),
- терену (грађевинске самоходне машине, машине унутрашњег транспорта)
- пољопривредна возила и машине ( трактори, комбајни и слична)
- борбена возила (самоходни топови, тенкови, оклопни транспортери и слична)

Ова дефиниција истовремено врши поделу возила према својим техничким и експлоатационим карактеристикама.

У опште сврха друмских возила дефинише њихову конструкцију, опрему и уређаје, те се сходно томе и унутар горе наведених група и подгрупа могу извршити даље поделе.

Подела друмских возила:

- према врсти остваривања погона:
  - возила на мишићни погон
  - возила на моторни погон, са следећим подгрупама
    - возила са помоћним мотором
    - друмска моторна возила
  - прикључна возила, која садрже следеће подгрупе
    - приколице
    - полуприколице
  - скупови или спрегови возила (вучни возови)
  - запрежна возила.
- према намени:
  - возила за превоз лица и/или робе (путнички и теретни аутомобили, тегљачи, аутобуси)
  - радна возила
  - специјална возила
  - возила унутрашњег транспорта (на пример виљушкар, возила посебних намена у унутрашњем транспорту)
  - војна возила (борбена и не борбена возила).

Борбена возила су по својој специјалној конструкцији и опреми намењена за посебна коришћења, пре свега у ратне сврхе и способна су да се крећу по путевима и терену, те ову групу возила не обухвата "Закон о безбедности у саобраћају", а ни стандард SRPS M N0.010, који врши даљу детаљнију поделу возила.

У подели моторних возила, према врсти и намени, постоји неусаглашеност између Закона о безбедности у саобраћају (ЗОБС) и стандарда SRPS M N0.010, који је потпунији самим тим што обухвата сва друмска возила са и без моторног погона.[4]

### 1.3 Основни системи на возилу

Главне системе на возилу чине:

1. Носећа конструкција
2. Погонски агрегат - мотор
3. Систем преноса снаге
4. Систем управљања
5. Систем кочења
6. Систем еластичног ослањања

#### *Носећа конструкција*

Носећа конструкција повезује остале системе возила и преузима највећи део оптерећења изазваних теретом, деловањем осталих система возила као и оних која су проузрокована кретањем возила. Уобичајена је изведба носеће конструкције код теретних возила рам, док се путничка возила, укључујући и аутобусе у правилу изводе са самоносећом каросеријом која преузима улогу носеће конструкције.



**Слика 1.4.** Носећа конструкција.[14]

#### *Погонски агрегат – мотор*

Погонски агрегат обезбеђује механичку енергију потребну за коришћење возила. Уобичајено решење на савременим возилима је клипни мотор СУС у изведби Ото или Дизел. Покушаји примене ротационих СУС мотора као што је Ванкел мотор нису дали за тржиште прихватљиво решење. У примени и друге врсте мотора на фосилна горива као што су на пример гасне турбине док се настављају истраживања примене Стирлинг мотора. Електрични мотори и мотори који користе акумулирану енергију у различитим видовима користе се у возилима за локални саобраћај. Електромобил се уствари развија знатно спорије од многобројних процена и очекивања. Значајна су улагања и у развој горивих ћелија које директно претварају хемијску енергију у електричну.



**Слика 1.5.** Погонски агрегат – мотор.[15]

#### *Систем преноса снаге*

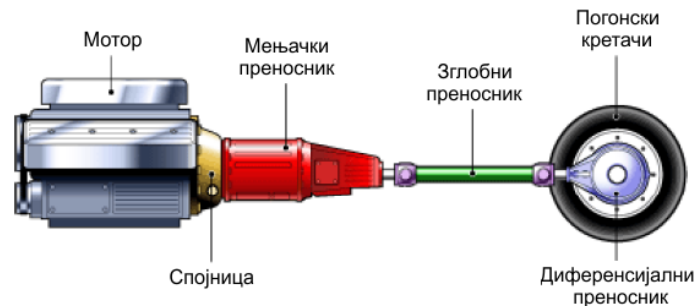
Погонски мотор у правилу није из конструкционих разлога могуће директно повезати са погонским точковима. Даље, ниједан да сада изведени погонски мотор нема излазне карактеристике које обезбеђује оптимално кориштење возила у свим условима рада. На пример дијапазон броја обртаја мотора СУС креће се између 4 и 10 а дијапазон брзина возила износе и преко 50. Систем преноса снаге повезује погонски мотор са погонским точковима и обезбеђује трансформисање снаге коју даје мотор у складу са условима рада возила.

Обично се овај систем састоји од :

1. Спојнице, која преноси момент од мотора до других агрегата система преноса снаге, омогућава полазак возила са места и прекида пренос снаге при промени степени преноса у мењачу.
2. Мењача, који трансформише обртни момент мотора у складу са условима вожње.
3. Разводника погона, који се примењује код возила са погоном на све точкове и разводи момент мотора на предњу и задњу осовину.
4. Зглобног вратила, које преноси обртни момент од мењача до погонских мостова.
5. Погонског моста, који врши финалну редукцију обртног момента и у чијем се склопу у правилу налази и диференцијал који омогућава криволинијску вожњу са

коректним котрљањем точкова. Савремени камиони често имају финалну редукуцију обртног момента тек у планетарном систему у точку.

6. Полувратила, која спајају точак са главним преносом погонског моста.
7. Погонских точкова који преносе обртни момент до тла и обезбеђују кретање возила.



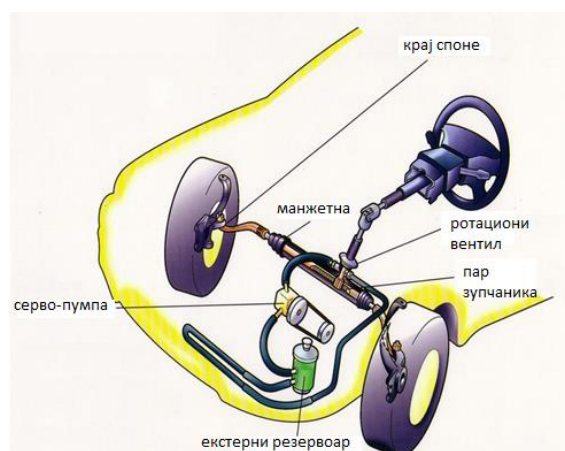
**Слика 1.6.** Шема система за пренос снаге.[16]

### Систем управљања

Овај систем омогућава возачу корекције правца кретања у складу са одредиштем према коме се возило креће и карактеристикама пута којим се возило креће. Систем управљања посебно је важан са становишта активне сигурности возила. У пројектовању и конструисању поред поузданости велики значај имају и елементи комфора при вожњи.

Уобичајено је да се возилом управља преко управљачких точкова; то су у правилу предњи точкови. Код возила са више осовина управљање се остварује преко точкова свих предњих осовина.

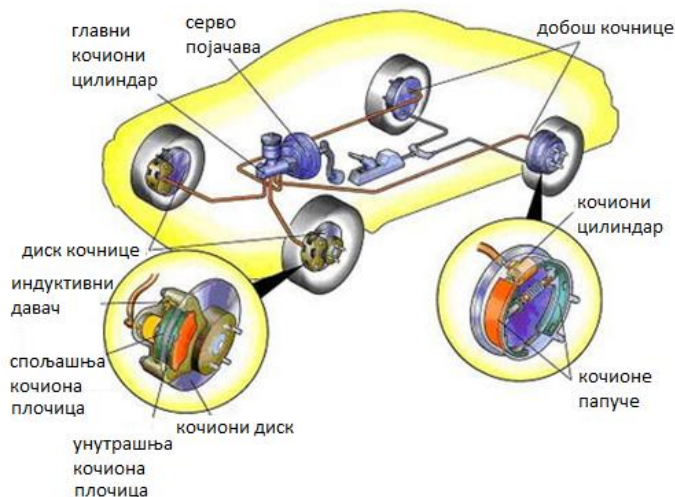
Сигурност овог система обезбеђују се строгим прописима о производњи и контроли квалитета, а комфор све већом применом различитих серво система.



**Слика 1.7.** Шематски приказ система за управљање.[17]

### Систем кочења

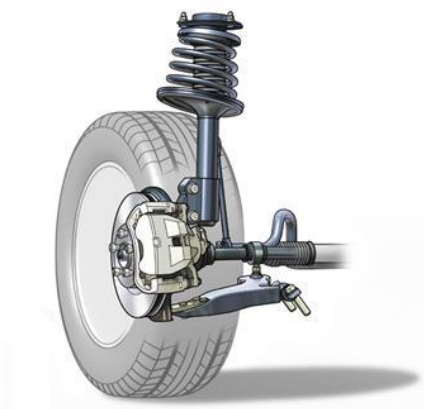
Систем кочења омогућава одржавање брзине у жељеним границама, контролисано смањивање брзине возила и заустављање возила у складу са намерама возача и условима одвијања саобраћаја. Овај систем је посебно важан са становишта активне сигурности возила те се при пројектовању и конструисању велики значај даје како поузданости тако и смањивању замора возача што повећава безбедност промета. Серво системи базирани су обично на кориштењу хидрауличних или пнеуматских уређаја.



Слика 1.8. Шема система за кочење.[18]

### Систем еластичног ослањања

Овај систем сачињавају точкови, осовине и вешање аутомобила које чине еластични елементи, елементи вођења, елементи пригушивања и елементи стабилизације. Потребно је напоменути да овај систем такође значајно утиче на управљивост и сигурност возила. Изведена решења система вешања су механичка, пнеуматска, хидраулична, а најчешће комбинована.



Слика 1.9. Шема система за еластично ослањање (McPherson). [19]

### *Каросерија*

Пројектовање и производњу каросерија (надградњи) карактеришу све израженији захтеви тржишта у погледу комфора и пасивне сигурности. Код неких возила, на пример аутобуса, каросерија претставља највреднији подсистем возила и учествује у цени производње и са више од 50 %.



**Слика 1.10.** Приказ каросерије. [20]

### *Систем електро опреме*

Поред система расвете и сигнализације, које мора да има свако возило, електро опрема се у различитим видовима налази и у свим другим системима возила. Бурни развој електронике у последњим годинама резултирао је и масовном применом у возилима са циљем да се побољшају функционалне карактеристике те повећа поузданост и комфор.

### *Систем помоћне опреме*

Возила се у врло великом проценту и са сталном тенденцијом раста граде као специјална или радна. Сада постоји више стотина различитих изведби ових возила опремљених у складу са наменом, различитим и често сложеним системима помоћне опреме.[5]

## 1.4 Савремена возила и тенденције у развоју

Данашњи степен развоја моторних возила карактерише се производњом и експлоатацијом веома широког спектра различитих врста, типова и категорија моторних возила.

Савремена моторна возила без обзира на врсту, тип или категорију, карактеришу се релативно великом сложености конструкцијских решења, тако да свако моторно возило представља сложен машински систем. У току развоја дошло је до примене све већег обима механизације и све вишег нивоа аутоматизације на већини основних система моторног возила, тако да на одређеним типовима савремених моторних возила поједини системи представљају системе аутоматског управљања.

Конструкција, развој и експлоатација савременог моторног возила, као сложеног машинског система, захтева примену читавог низа научних и техничких дисциплина, уз ангажовање већег броја стручњака различитих профила и специјалности (машинци, електричари, технолози, електроничари, дизајнери, економисти и др.) [6]

Скоро све светски познате фирме излажу своје верзије хибридних аутомобила серијске производње, на међународним сајмовима. Тим поводом америчка фирма Џенерал Моторс излаже прототип серијског возила Волт (*Volt*, слика 11) са погоном точкова искључиво електромоторима, који добијају енергију из акумлатора. Возило има и један Опелов (*Opel*) бензински мотор од 1,6 литара спрегнут са генератором, искључиво као агрегат за допуну литијум-јонских батерија, дакле не и за директан погон.

Такође све се више води рачуна о емисији издувних гасова па се уводе норме о емисији издувних гасова, сукцесивним увођењем норми са коначним циљем увођења у праксу норми (*Zero*) тј. возила без емисије штетних издувних гасова. Тренутно су на снази такозване Еуро 5 норме (*Euro V*).

Данас се производе аутомобили свих врста и намена: возила ниже и средње класе са скромнијим карактеристикама, луксузна путничка возила, спортска возила, породична возила (*Van*), теренска возила, аутобуси различитих намена. [4]



Слика 1.11. Приказ аутомобила *Volt* фирме General Motors. [21]

### 1.4.1 Најважнији правци будућег развоја моторних возила:

Генерални захтеви:

- Повећана сигурност – активна и пасивна,
- Еколошка погодност,
- Енергетска погодност,
- Погодност за рециклажу,
- Боље функционалне карактеристике,
- Комфор,
- Радни век.

Интелигентни аутомобили будућности (интелигентни системи транспорта):

- Контрола свих система аутомобила,
- Оптимизација свих система аутомобила,
  - контрола вожње,
  - погонски систем,
  - управљачки систем,
  - кочиони систем.
- Систем сигурности,
  - спречавање судара,
  - сигурно претицање,
  - сигурно паркирање,
  - црна кутија,
  - персонална идентификација,
- Информациони системи
  - навигација,
  - комуникација,
  - важне информације,
  - забава,

Развој система аутомобила:

- Развој постојећих погонских мотора
  - Ото и Дизел мотори (потрошња, екологија, поузданост),
- Нови погонски мотори
  - електромотори у аутомобилима са батеријама,
  - гориве ћелије,
  - остали мотори ( хибридни погони, пнеуматски мотори),
- Систем преноса снаге
  - контрола тракције,
  - аутоматизација спојница и мењача (актуатори),
  - CVT (континуални варијабилни преносници).[5]

## 2. Отпори кретању возила

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 пропулзивне силе, које настоје да убрзају возило и отпорне силе које се супростављају кретању, ондосно теже га успоре. Кретању возила супростављају се силе отпора:

- 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  $R_p$ .

### 2.1 Отпор котрљања

Котрљању еластичног точка по тврдој подлози се супроставља сила отпора која је резултат појединачно ангажованих сила на савлађивању отпора услед: унутрашњег трења у пнеуматику, клизања елемената пнеуматика по површини котрљања, лепљења пнеуматика на површину котрљања итд. Током анализа, разлика између силе отпора котрљања на погонским и гоњеним точковима се занемарује: [1]

$$R_{fp} = f_p Z_p, \quad (2.1)$$

$$R_{fz} = f_z Z_z,$$

где су:  $f_p$  и  $f_z$  коефицијенти отпора котрљања пнеуматика на предњој и задњој осовини и  $Z_p$  и  $Z_z$  динамичке реакције на предњој и задњој осовини.

Укупна сила отпора котрљања, сразмерна је радијалном оптерећењу точка и коефицијенту отпора котрљања:

$$R_f = f \sum Z_T = f G \quad (2.2)$$

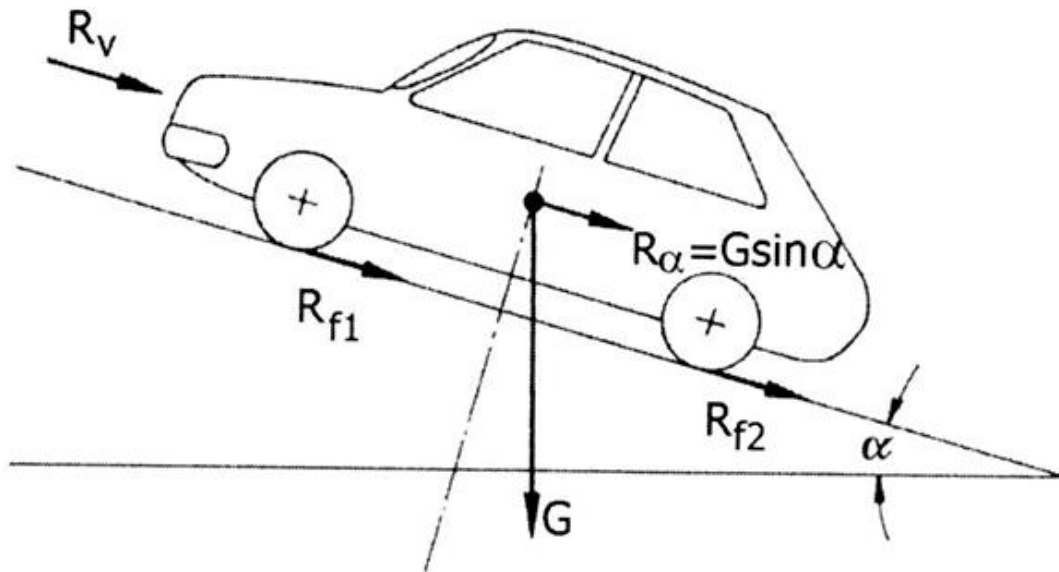
У случају кретања возила по путу са подужним нагибом  $\alpha$  укупна сила отпора котрљања је:

$$R_f = f G \cos \alpha \quad (2.3)$$

Напоменимо да коефицијент отпора при котрљању у изразима (2.2) и (2.3) договорно обухвата и друге губитке који су везани за кретање аутомобила, а које нисмо помињали. Отпор котрљања приказан је на слици 2.1 заједно са отпором нагиба пута.

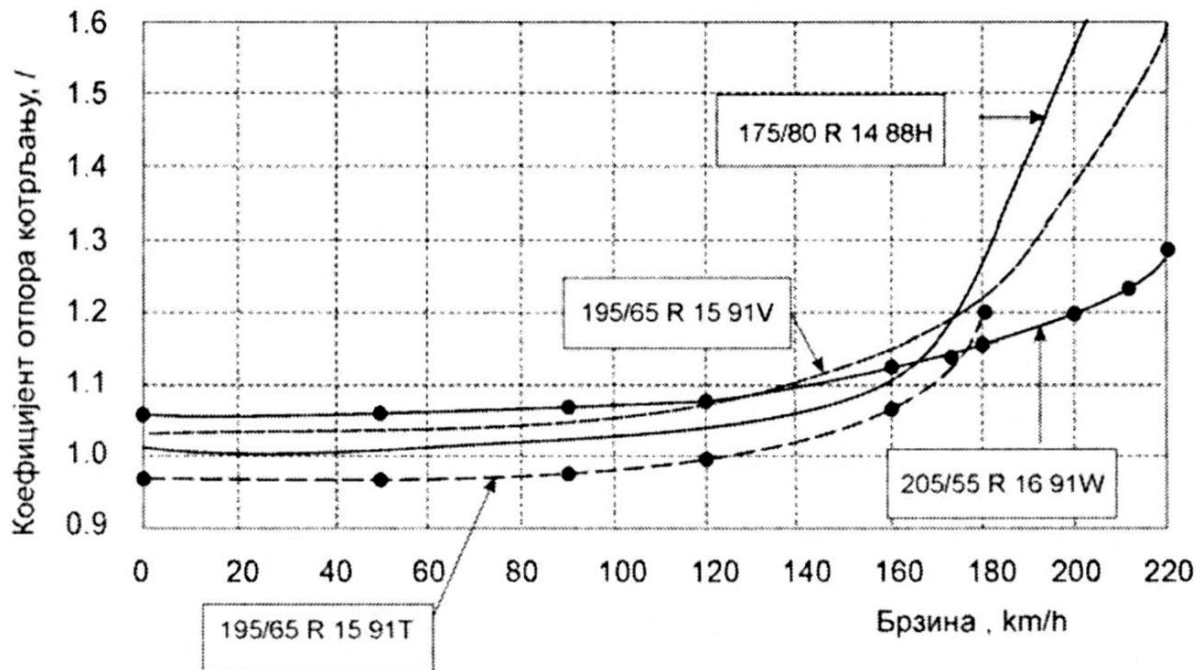
То су губици услед:

- трења у лежиштима точкова,
- удара о неравнине пута,
- трења код вучног, прикључног, возила у вучним уређајима,
- трења у подужним и попречним везама полужја и вешања.[2]



Слика 2.1. Кретање возила на нагнутом путу[1]

Коефицијент отпора корљања обухвата и све друге губитке који су везани за кретање возила, а које обухвата: трење у лежиштима точкова, ударе о неравнине пута, трење код вученог, прикључног возила итд. Зависност коефицијента отпора котрљања од брзине кретања за различите димензије пнеуматика, приказана је на слици 2.2. Коефицијент отпора котрљања је константан за брзине кретања до 60 km/h. У областима већих брзина, коефицијент отпора котрљања расте са квадратом брзине. [1]



Слика 2.2. Коэффициент отпора котрљања[7]

## 2.2 Сила отпора нагиба пута

Сила отпора нагиба пута представља пројекцију силе тежине возила на правац кретања. Делује као отпор који се супротставља кретању и кочењу возила. Према слици 2.1 сила отпора нагиба пута је: [1,2]

$$R_{\alpha} = G \sin \alpha . \quad (2.4)$$

Уколико се нагиб изражава у процентима (%), онда је:

$$P_{\%} = \operatorname{tg} \alpha \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.5)$$

За нагибе пута до  $P = 30 \%$  ( $\alpha = 17^{\circ}$ ) са максималном грешком од  $5 \%$  могуће је применити следећу апроксимацију:

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = P \quad (2.6)$$

Те је сила отпора нагиба пута:

$$R_{\alpha} = m g p, \text{ за } P \text{ мање од } 30 \% \quad (2.7)$$

У табели 2.1 дати су максимални подужни нагиби зависно од типа пута, максималне довољне брзине кретања.

Табела 2.1 Категорије и максимални нагиби пута[1]

| Подручје                 | Врста пута                | Максимална брзина кретања, [km/h] | Максимални нагиб пута, [%] |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Пут ван насељене области | Локални пут               | 40                                | 10                         |
|                          | Регионални                | 60                                | 6,5                        |
|                          | Магистрални               | 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                         |

### 2.3 Отпор инерцијалних сила

При убрзаном кретању аутомобила појављује се сила отпора пута убрзавању ( $R_i$ ), инерцијална сила, која је једнака потребној сили за убрзавање аутомобила. У том процесу маса аутомобила ( $m$ ) добија транслаторно, док систем замајац-точкови ротационо убрзање. Укупна потребна сила за убрзавање аутомобила, [2]

$$R_i = R_i' + R_i'' \quad (2.8)$$

састоји се од:

$R_i'$  – потребне силе за једнолико транслаторно убрзање масе аутомобила,

$R_i''$  – потребне силе за једнолико ротационо убрзавање обртних маса аутомобила.

За силу  $R_i'$  можемо да пишемо:

$$R_i' = m j = \frac{G}{g} j \quad (2.9)$$

Овде су:

$m$  – маса возила

$j$  – убрзање возила и

$G$  – тежина возила.

Инерцијални отпор, који је последица убрзаног кретања ротирајућих делова возила сведен на погонске тачкове, дефинише израз према слици 2.3:

$$R_i = J_z \frac{d\omega_z}{dt} \frac{i_m i_0 \eta}{r_d} + J_T \frac{z}{r_d} \frac{d\omega_T}{dt} \quad (2.10)$$

где су:

$J_z$  – момент инерције замајца,

$J_T$  – момент инерције тачкова,

$d\omega_T/dt$  – угаоно убрзање тачка,

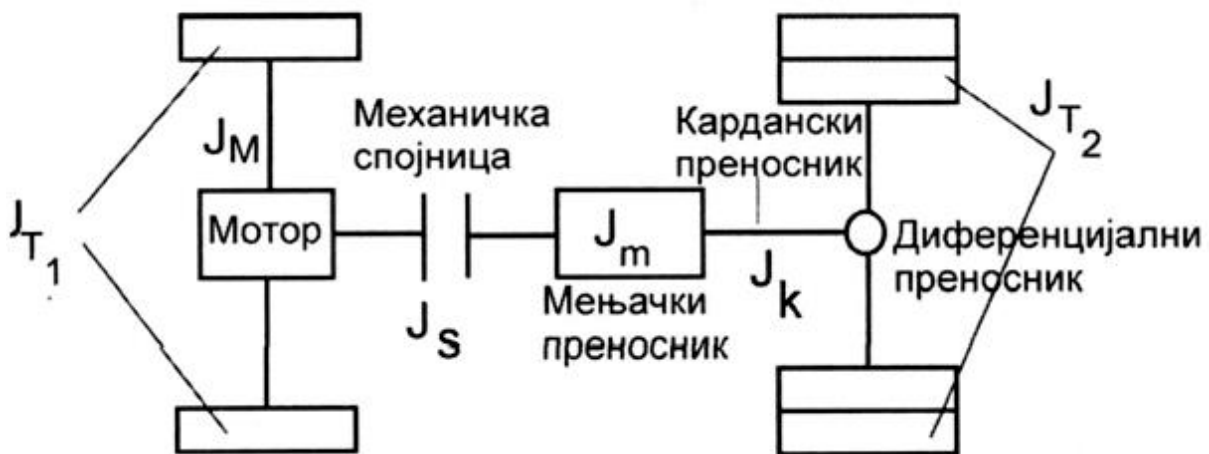
$d\omega_z/dt$  – угаоно убрзање замајца,

$z$  – број тачкова,

$i_m$  – преносни однос у мењачу,

$i_0$  – преносни однос главног преносника и

$\eta$  – степен корисности трансмисије. [1,2]



Слика 2.3 Шема преноса снаге и обртног момента. [1]

На основу познатих релација важе следеће зависности:

$$v = \omega_T r_d \text{ и } \frac{d\omega_T}{dt} = \frac{1}{r_d} \frac{dv}{dt} = \frac{1}{r_d} j, \quad (2.11)$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} = \frac{d\omega_T}{dt} i_m i_0 = \frac{i_m i_0}{r_d} \frac{dv}{dt} = \frac{i_m i_0}{r_d} j.$$

После сређивања, израз за укупну силу инерције возила постаје:

$$R_i = R'_i + R''_i = \frac{G}{g} j + J_z \eta \frac{i_m^2 i_0^2}{r_d^2} j + J_T \frac{z}{r_d} j = \frac{G}{g} j \left( 1 + \frac{g}{G} J_z \eta \frac{i_m^2 i_0^2}{r_d^2} + \frac{g}{G} J_T \frac{z}{r_d} \right). \quad (2.12)$$

Скраћено написано:

$$R_i = R_i \delta = \frac{G}{g} \delta j. \quad (2.13)$$

где је:

$\delta$  – коефицијент учешћа обртних маса.

Често се у литератури користи и еквивалентна маса која узима у обзир и инерцијалне карактеристике система за пренос снаге и одређује се према: [8]

$$m_e = m \delta, \quad (2.14)$$

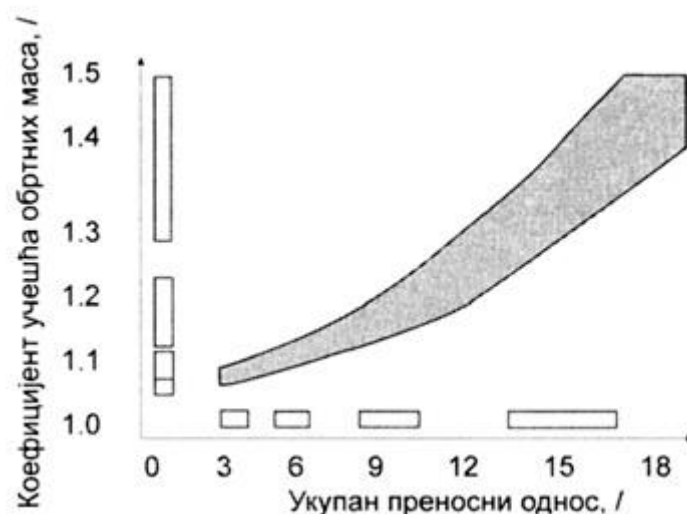
Коефицијент учешћа обртних маса зависи од тежинског стања и конструкције возила и мења се зависно од преносног односа мењача. Зависност коефицијента учешћа обртних маса од укупног преносног односа трансмисије приказан је на слици 2.4.

Уколико не постоје подаци за моменте инерције замајца и точкова, може се користити и емпиријска формула(2.15):

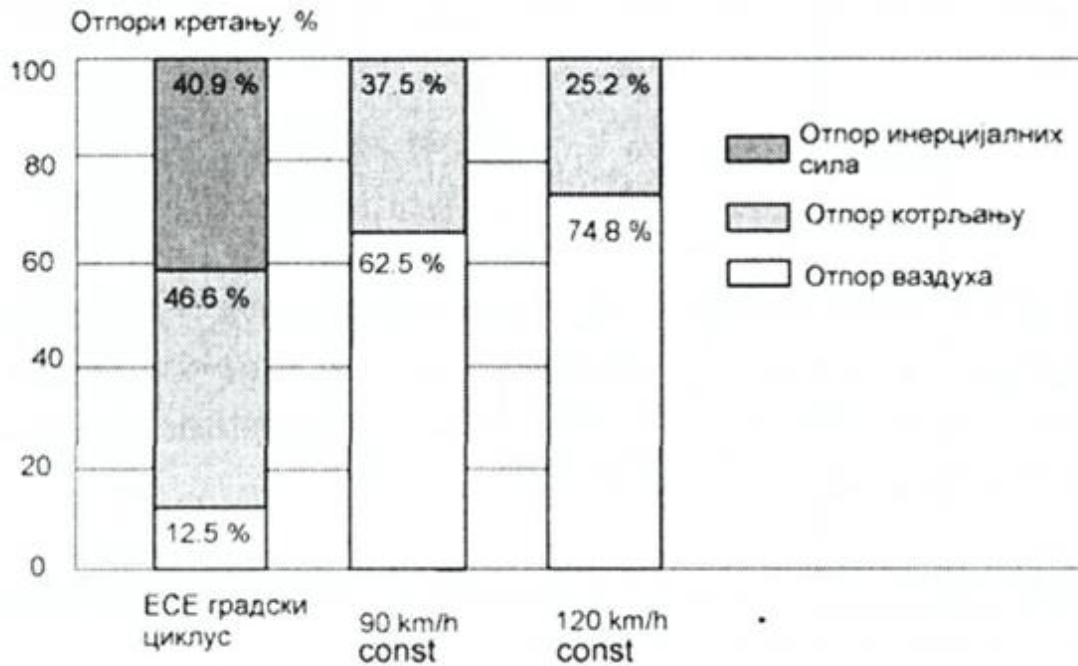
$$\delta = 1,03 + a * i_m^2, \quad (2.15)$$

где је  $a = 0,04 \div 0,07$ .

Ради илустрације на слици 2.5 приказани су резултати анализе отпора кретању возила у зависности од режима вожње за возило Голф[9]. У градској вожњи, као и на путевима са нижим брзинама кретања, преко 46% укупног отпора кретању чини отпор котрљању, док при вишим брзинама кретања отпор ваздуха представља најугицајнији отпор кретању возила.



**Слика 2.4** Коефицијент учешћа обртних маса путничких аутомобила[9]



Слика 2.5 Отпори кретању возила[7]

## 2.4 Отпори прикључних возила

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

$$R_p = R_{fp} + R_{ap} + R_{vp} + R_{ip}, \quad (2.16)$$

где су:

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

Израз (2.16) 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 израчунавају се на потпуно исти начин као и код соло возила. Изузетак је отпор ваздуха, с обзиром на измењене услове вртложења ваздуха. Обично се занемарује, а овај утицај се компензује повећањем отпора ваздуха вучног возила за 15-30 %. [10]

## 2.5 Радни отпори

Поред сопствених отпора кретању, возила су изложена дејству отпора прикључних машина и оруђа са којима обављају разне операције. Ова врста отпора представља основне отпоре кретању радних возила.

Радни отпори могу бити веома различити по нивоу и карактеру. То зависи од врсте и димензија прикључне машине или оруђа али и од тла које се обрађује, односно од намене радног возила. Савлађивање отпора може се остварити на два начина: силом на потезници, односно преко погонских точкова и обртним моментом као код неких типова радних возила. Прикључне машине су плугови, култиватори, сејалице и друга пољопривредна возила, односно дозерске и скреперске даске, лопате копача и утоваривачи и друге машине грађевинске механизације. У групу прикључних машина које се погоне преко вратила за одвод снаге спадају ротациони плугови, копачице и друге сличне машине за обраду земљишта.

Отпори обраде земљишта представљају основне и најважније радне отпоре свих радних возила, посебно за примену у пољопривреди и грађевинарству. Величине ових отпора, по правилу представљају и меру максималних могућности радних возила, односно ограничења перформанси.

Радни отпор прикључних машина за обраду земљишта зависи од више чинилаца, који су одређени експерименталним путем.

Према [10] радни отпори су одређени изразом:

$$R_{pl} = f_{pl} G_{pl} + K_0 b h + E b h v_{pl} \quad (2.17)$$

где су:

$f_{pl}$ - коефицијент трења између плуга и тла,

$G_{pl}$ - тежина плуга,

$K_0$  - специфични отпор тла,

$b$  - ширина захвата,

$h$  - дубина захвата,

$E$  - емпиријска константа и

$v_{pl}$  - брзина трактора при орању.

У пракси, најчешће се користи следећи израз за радни отпор прикључних машина:

$$R_{pl} = K_0 b h, \quad (2.18)$$

где је  $K_0$  специфични отпор тла који узима у обзир и утицај брзине кретања трактора при орању, тј. брзину сечења земљишта. Просечне вредности специфичног отпора дате су у табели 2.2.

**Табела 2.2** Просечне вредности специфичног отпора[1]

| Врста земљишта | $K_o, \text{kNm}^{-2}$ |
|----------------|------------------------|
| Смоница        | 80-100                 |
| Глинасто       | 60-80                  |
| Црница         | 40-60                  |
| Песковито      | 20-40                  |

Радни отпор одређен на основу једначине (2.18) делује паралелно тлу по коме се возило креће. У реалним условима експлоатације овај радни отпор заклапа неки угао  $\theta$ , који понекад може да има велике вредности. Међутим, да би се у потпуности тачно одредили отпори резања земљишта и отпор клизања, потребна су обимна испитивања, па се у инжењерским прорачунима користе упрошћени изрази засновани на претпоставци да је отпор плуга паралелан подлози по којој се трактор креће.

Радни отпор прикључних машина се обично одређује према изразу:

$$R_{pm} = k_1 b, \quad (2.19)$$

који представља производ јединичног отпора,  $k_1$  и ширине захвата,  $b$ . Приближне вредности јединичног отпора за карактеристичне радне операције дате су у табели 2.3.

**Табела 2.3** Јединични отпор карактеристичних операција[1]

| Радна операција | $k_1, \text{kNm}^{-1}$ |
|-----------------|------------------------|
| Дрљање          | 500-700                |
| Скидање стрњике | 1600-2400              |
| Култивација     | 1400-1800              |
| Сејање          | 900-1400               |
| Косидба         | 800-1160               |

Израз (2.19) може се користити код прикључних машина грађевинске механизације. Просечне вредности специфичног отпора за три карактеристична радна органа дате су у табели 2.4. [1]

**Табела 2.4** Просечне вредности специфичног отпора код прикључних грађевинских машина[1]

|                                       | $K_0 \text{ kNm}^{-2}$ |                     |                       |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
|                                       | <i>Утоварна лопата</i> | <i>Даска дозера</i> | <i>Даска скрепера</i> |
| Тешка глина                           | 200-300                | 260-400             | 320-400               |
| Средње тешка глина, делом растресита  | 125-195                | 160-200             | 170-200               |
| Лака глина, влажна и делом растресита | 60-130                 | 100-190             | 95-180                |
| Влажан песак, лака глина растресита   | 30-70                  | 60-120              | 50-100                |
| Сув, растресит песак                  | 15-25                  | 30-50               | 20-40                 |

### 3. Отпор ваздуха и утицајни параметри

#### 3.1 Уводна разматрања

У развоју аутомобила све више се полаже пажња на његову аеродинамичност. Две групе фактора истичу посебан значај аеродинамичности путничких аутомобила и захтевају врло детаљна истраживања утицаја, како облика аутомобила у целини тако и појединих спољашњих делова. То су:

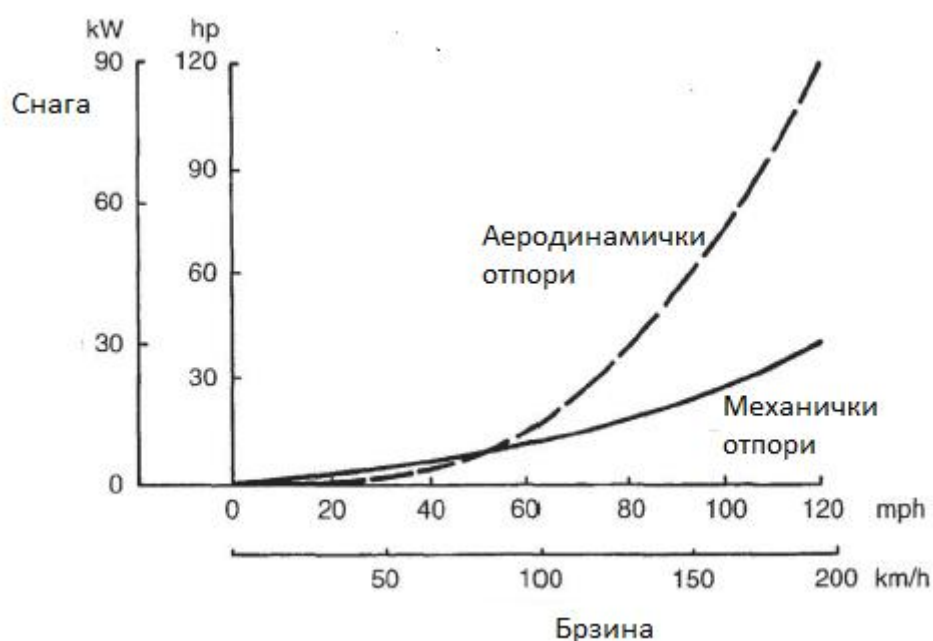
- економичност потрошње горива,
- динамичко понашање аутомобила и стабилност.

Чињеница да већ при брзинама од око 60 km/h, отпор ваздуха путничког аутомобила на хоризонталном путу достиже око 50% од укупних отпора кретања. При вишим брзинама, на пример, при брзинама од око 90 до 120 km/h, отпор ваздуха путничког аутомобила достиже 65% до 75% од укупног отпора кретања. [2]

У време када се највећи значај придаје економичној потрошњи горива и снижењу емисије издувних гасова, важно је дефинисати оптималне захтеве возила у погледу снаге погонског агрегата. Неопходно је отпоре кретању возила свести на најмању могућу меру.

Отпор ваздуха генерише се на два начина: опструјавањем ваздуха око каросерије возила и прострујавањем ваздуха кроз систем за усисавање ваздуха, и кроз унутрашњост возила преко система за хлађење, грејање и вентилацију. Отпор ваздуха генерисан опструјавањем представља 90% укупног отпора ваздуха. [1]

На слици 3.1 приказане су криве отпора механичких и аеродинамичких сила у односу на снагу и брзину.



Слика 3.1. Криве отпора механичких и аеродинамичких сила. [3]

### 3.2 Аеродинамичке силе и моменти

Аеродинамички отпори који се јављају кад се возило креће брзином  $v$ , слика 3.2, су: *отпор ваздуха*  $R_v$ , *бочна сила отпора ваздуха*  $R_y$  и *сила узгона*  $R_z$ . На основу теорије динамике флуида, а по узору на изразе који се користе у авијацији, за средње брзине летења *отпор ваздуха*  $R_v$ , у правцу кретања возила је дефинисан изразом:

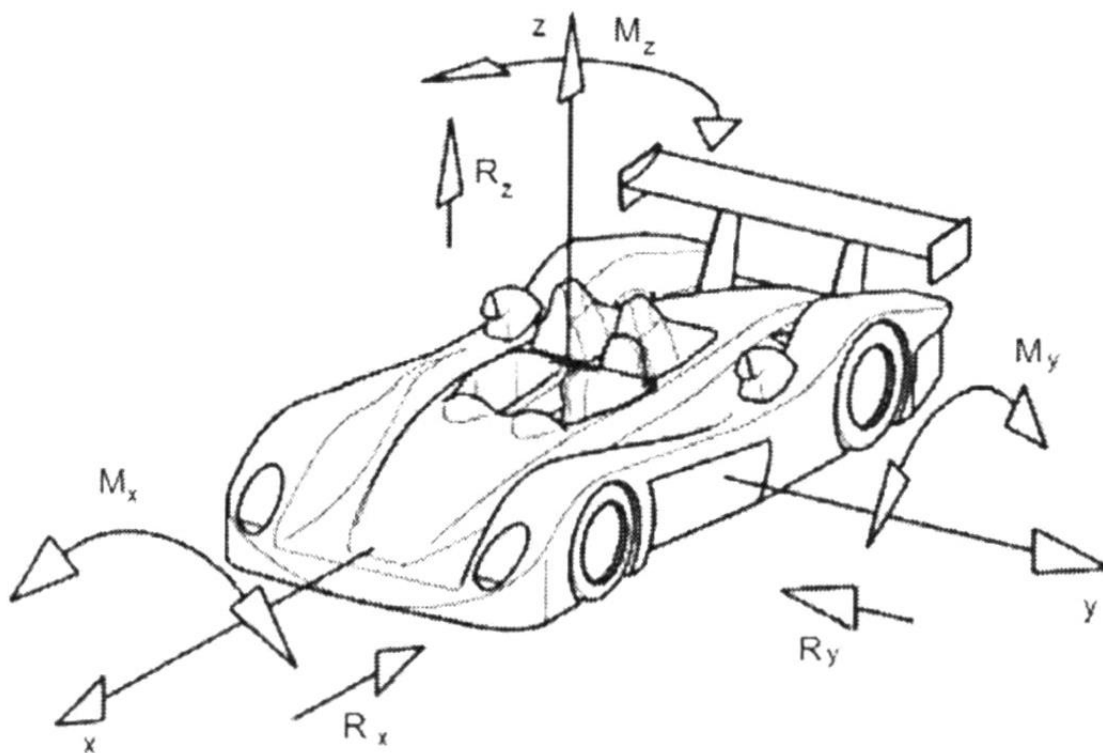
$$R_v = \frac{1}{2} c_x \rho A v_r^2 \quad (3.1)$$

Слично, бочна сила отпора ваздуха је:

$$R_y = \frac{1}{2} c_y \rho A v_r^2 \quad \text{и} \quad (3.2)$$

сила узгона је:

$$R_z = \frac{1}{2} c_z \rho A v_r^2 \quad (3.3)$$



Слика 3.2. Шема дејства аеродинамичких сила и момената[1,8]

У колико се возило креће брзином  $v$  и на њега делује бочни ветар  $v_w$  под углом  $\tau$ , вектор резултујуће релативне брзине ваздуха дат је изразом:

$$v_r = v + v_w \quad (3.4)$$

где су:

$v_r$ — резултујућа брзина возила,

$v$  — брзина возила у правцу кретања,

$v_w$ — брзина ветра, која делује на возило под углом  $\tau$ , у односу на правац кретања,

$A$  —чеона површина возила

$\rho$  — густина ваздуха

$c_x$ — коефицијент отпора ваздуха (drag coefficient)

$c_y$ — коефицијент бочног отпора ваздуха (зависи од релативног угла ветра, (side force coefficient) и,

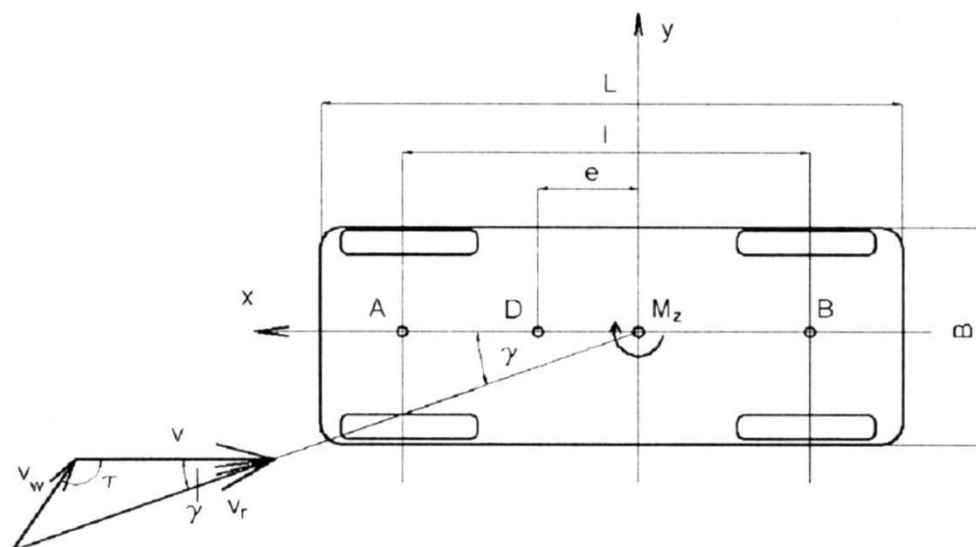
$c_z$ — коефицијент узгона, (lift coefficient).[1]

Уколико се аутомобил креће брзином  $v$ , а природно струјање ваздуха (ветар) има брзину  $w$  која са подужном осом аутомобила заклапа угао  $\tau$ , резултујућа релативна брзина ваздушне струје заклапаће неки угао  $\gamma$  са подужном осом аутомобила (сл. 3.3) а њен ће интензитет бити :[2]

$$v_r = \sqrt{v^2 + v_w^2 + 2v * v_w \cos \tau}, \quad (3.5)$$

Очигледно је да су у изразу (3.5) садржани сви случајеви, наиме,

- за  $w = 0$   $v_r = v$ ;
- за  $\tau = 0$ ,  $v_r = v + w$ ;
- за  $\tau = 180$ ,  $v_r = v - w$ ;
- за  $\tau = 90$ ,  $v_r = \sqrt{v^2 + w^2}$



Слика 3.3. Шема аеродинамичких сила.[1,2]

Моменти који се јављају као последица аеродинамичких отпора кретању возила су:

*момент ваљања:*

$$M_x = \frac{1}{2} c_{xM} \rho A v_r^2 l \quad (3.6)$$

*момент галопирања:*

$$M_y = \frac{1}{2} c_{yM} \rho A v_r^2 l \quad (3.7)$$

*и момент пливања:*

$$M_z = \frac{1}{2} c_{zM} \rho A v_r^2 l \quad (3.8)$$

У предходним једначинама (3.6), (3.7) и (3.8) коефицијенти  $c_{xM}$ ,  $c_{yM}$  и  $c_{zM}$  представљају коефицијенте момената ваљања, галопирања и пливања респективно.

На слици 3.4 приказана је шема деловања сила узгона и момента галопирања. Из услова равнотеже сила, а на основу израза (3.6) – (3.8) одређене су силе узгона и момент галопирања:

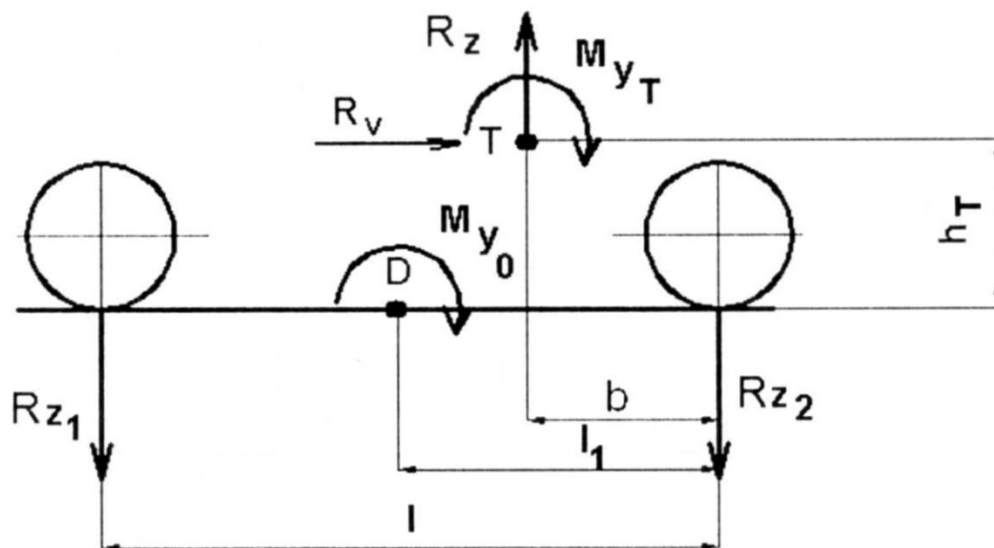
$$R_{z1} = R_v \frac{h_T}{l} + R_{z2} \frac{b}{l} + M_{yT} \frac{1}{l} \quad (3.9)$$

$$R_z = R_{z1} + R_{z2}$$

Момент галопирања у тачки D је:

$$M_{y0} = c_{my0} A l v_r^2 \frac{\rho}{2} \quad (3.10)$$

$$M_{y0} = (R_{z1} - R_{z2}) \frac{l}{2}.$$



Слика 3.4 Шема дејства аеродинамичких отпора у подужној равни. [1]

Смер сила узгона  $R_{zi}$  зависи од односа  $R_z$  и  $M_{yT}$ . Због постојања сила узгона које настоје да растерете предњу, односно задњу осовину, момент галопирања настаје као последица тога што сила отпора ваздуха не делује у равни тла. Коефицијент момента галопирања савремених возила има вредности 0,005 – 0,2 и зависи од угла наиласка струје ваздуха на возило.

Бочна сила изазвана бочним ветром не делује у оси возила и самим тим изазива момент пливања. Коефицијент момента пливања при малим угловима деловања бочног ветра има вредности 0,007 – 0,017  $1/^\circ$ .

Момент клаћења јавља се када бочна сила ветра делује на возило на одређеној висини. Овај момент има мали утицај на стабилност возила и зависи од карактеристика система еластичног ослањања. Коефицијент отпора момента клаћења зависи од угла под којим ветар делује на возило има скоро линеаран карактер до 20  $^\circ$ .

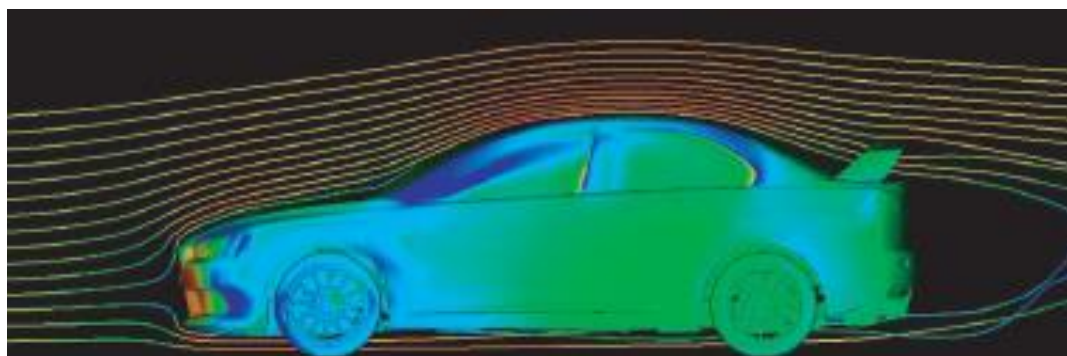
Узгон има негативан ефекат на управљивост, јер смањује силе у контакту пнеуматика и пута. Узгон на предњој страни возила, који утиче на контролу управљивости, смањује се уградњом предњих спојлера или смањењем угла наиласка. [1]

### 3.3 Фактори који утичу на отпор ваздуха

Отпор ваздуха проузрокују:

*Резултанта нормалних сила притисака*– При кретању возила врши се сабијање ваздуха у предњем делу, док се у задњем делу возила јавља разређивање. Услед тога појављује се чеони удар којим се ваздух супроставља кретању возила. Величина чеоног удара расте са повећањем брзине возила. Овај део укупног отпора има највећи утицај и назива се отпор облика, слика 3.5.

На отпор облика утиче подужни профил возила. Он представља 55-60% укупног отпора ваздуха. Упоредо са ламинарним опструјавањем у одређеним зонама појављују се вртложења. Она су изражена на бочним површинама, као и на површинама испод аутомобила. Друге делују у правцу издизиња возила и овај отпор додаје отпору облика и повећава га за 6-8%.



Слика 3.5. Ламинарно опструјавање и подужни профил аутомобила. [11]

*Резултанта тангецијалних сила* које делује на спољашњу површину аутомобила. Компоненте ових сила проузроковане су трењем ваздуха о површину аутомобила. Овај део укупног отпора је отпор услед површинског трења. Он може чинити и до 10% укупног отпора ваздуха, па глатке и равне површине нису само пожељне из естетских разлога.

*Отпор услед појаве прекидних зона* чине отпори које проузрокују поједини функционално неопходни делови, који на било који начин одступају од основног облика возила, као што су: брава, огледала, стубови и делови испод аутомобила. Овај отпор се често назива и прекидни отпор и може да износи и до 15% укупног отпора ваздуха.

*Резултанта унутрашњег прострујавања ваздуха* коју чине компоненте отпора услед пролаза ваздуха кроз унутрашњост возила, што чини око 10% укупног отпора ваздуха.

Спољашња струја ваздуха генерише нормалан притисак и смицајни напон на површини каросерије.[1 – 3]

Отпор ваздуха можемо рачунати и према изразу (3.14):

$$R_v = c_x \frac{\gamma}{2g} A v_{rx}^n = c_x \frac{\rho}{2} A v_{rx}^n \quad (3.11)$$

Овде су:

$c_x$  — коефицијент отпора ваздуха; са њим су узети у обзир напред наведени облици отпора ваздуха.

С обзиром да је отпор облика аутомобила најбитнији, коефицијент  $c_x$  се често назива коефицијент отпора облика;

$\gamma$  — срецифична тежина ваздуха у  $[N/m^3]$ ;

$\rho$  — густина ваздуха у  $[kg/m^3]$ ;

$A$  — површина која се добија пројектовањем аутомобила на раван управну на правац кретања; ово је такозвана чеона површина у  $[m^2]$ ;

$v_{rx}$  — компонента резултујуће релативне брзине струјања ваздуха у односу на аутомобил, у  $[m/s]$ .

(Индекс -х- означава компоненте у правцу подужне осе аутомобила).

Нас обично интересује величина силе отпора ваздуха, у функцији од брзине кретања, која дејствује у подужној оси аутомобила. Дакле, компонента чији се правац поклапа са правцем вектора брзине аутомобила.

Тако, за случај да је апсолутна брзина ваздуха  $w = 0$  (или је  $\tau=90^\circ$ ) формула (3.14) се претвара у:

$$R_v = c_x \frac{\rho}{2} A v^n \quad (3.12)$$

или за случајеве  $\tau = 0$  и  $\tau = 180^\circ$  имамо

$$R_v = c_x \frac{\rho}{2} A(v \pm w)^n \quad (3.13)$$

У свим наведеним изразима за отпор ваздуха експонент  $-n-$  узима се у зависности од брзине кретања  $v$ . Тако за мале брзине од 1[m/s] па до 300 [m/s] може се узети  $n=2$  и за брзине веће од 300 [m/s] може се узети  $n=3$ . Густина ваздуха [ $\rho=\gamma/g$ ] може се одредити на основу једначине гасног стања :

$$\rho = \frac{p}{gRT} \quad (3.14)$$

где су:

$p$  — притисак ваздуха у [Pa];

$T$  — апсолутна температура ваздуха;  $T = (273 + t) ^\circ K$ ;

$R$  — карактеристика (константа) гасног стања; за ваздух имамо  $R = 29,27$ .

За нормалне услове ( $B_0 = 1015$  mbara, температура  $t=15^\circ$ ) густина ваздуха износи,  $\rho \approx 1,25$  [kg /m<sup>3</sup>].

Уколико се услови разликују од нормалних, густина ваздуха може се израчунати по формули:

$$\rho = 1,25 \frac{B}{1015} \frac{288}{T} \quad (3.15)$$

Узимајући у обзир напред речено, једначину (3.16) можемо да напишемо у облику:

$$R_v = c_x \frac{\rho}{2} A(v + w)^2 \quad (3.16)$$

или

$$R_v = KA(v + w)^2 \quad (3.17)$$

где смо увели коефицијент отпора ваздуха у облику  $K = c_x \frac{\rho}{2}$ . Уколико је брзина изражена у [km/h] имамо најчешће примењени облик формуле за срачунавање силе отпора ваздуха.

$$R_v = \frac{KA(v \pm w)^2}{3,6^2} = \frac{KA(v \pm w)^2}{13}$$

$$\text{односно за } w=0 \quad (3.18)$$

$$R_v = \frac{KA v^2}{13}$$

Чеона површина (A) одређује се планиметрисањем пројекције (спољашње) контуре аутомобила на вертикалну попречну раван. У недостатку планиметрисане површине могу се користити подаци наведени у табели 3.1[2]

**Табела 3.1** Чеона површина A и кофицијент аеродинамичности  $c_x$  за одређене типове возила[3]

| Возило                   | Коефицијент аеродинамичности $c_x$ | Чеона површина A |                 |
|--------------------------|------------------------------------|------------------|-----------------|
|                          |                                    | m <sup>2</sup>   | ft <sup>2</sup> |
| Fiat Uno ES              | 0.33–0.34                          | 1.83             | 19.70           |
| Peugeot 205GL            | 0.35–0.37                          | 1.74             | 18.73           |
| Honda Civic 1.2          | 0.37–0.39                          | 1.72             | 18.51           |
| VW Polo Coupe            | 0.39–0.40                          | 1.72             | 18.51           |
| Nissan Micra GL          | 0.40–0.41                          | 1.78             | 19.16           |
| VW Golf GTI              | 0.35–0.36                          | 1.91             | 20.56           |
| VW Jetta GT              | 0.36–0.37                          | 1.91             | 20.56           |
| Ford Escort 1.3 GL       | 0.39–0.41                          | 1.83             | 19.70           |
| Mazda 323 1.5            | 0.41–0.43                          | 1.78             | 19.16           |
| Toyota Corolla 1300 DX   | 0.45–0.46                          | 1.76             | 18.95           |
| VW Passat CL             | 0.36–0.37                          | 1.89             | 20.34           |
| Audi 80CC                | 0.38–0.39                          | 1.86             | 20.02           |
| BMW 318i (320i)          | 0.39–0.40                          | 1.86             | 20.02           |
| Honda Accord 1.8 EX      | 0.40–0.42                          | 1.88             | 20.24           |
| Nissan Stanza Notchback  | 0.41–0.43                          | 1.88             | 20.24           |
| Audi 100 1.8             | 0.30–0.31                          | 2.05             | 22.07           |
| Mercedes 190E (190D)     | 0.33–0.35                          | 1.90             | 20.45           |
| BMW 518i (520i, 525e)    | 0.36–0.38                          | 2.02             | 21.74           |
| Saab 900 GLi             | 0.40–0.42                          | 1.95             | 20.99           |
| Volvo 740 GLE            | 0.40–0.42                          | 2.16             | 23.25           |
| Saab 9000 Turbo 16       | 0.34–0.36                          | 2.05             | 22.07           |
| Jaguar XL-S              | 0.40–0.41                          | 1.92             | 20.67           |
| Mercedes 500 SEL         | 0.36–0.37                          | 2.16             | 23.25           |
| Peugeot 604 STI          | 0.41–0.43                          | 2.05             | 22.07           |
| BMW 728i (732i/735i)     | 0.42–0.44                          | 2.13             | 22.93           |
| Porsche 924              | 0.31–0.33                          | 1.80             | 19.38           |
| Renault Fuego GTX        | 0.34–0.37                          | 1.82             | 19.59           |
| VW Scirocco GTX          | 0.38–0.39                          | 1.74             | 18.73           |
| Toyota Celica Supra 2.8i | 0.37–0.39                          | 1.83             | 19.70           |
| Honda Prelude            | 0.38–0.40                          | 1.84             | 19.81           |

Аналогно напред датом изразу уводи се често коефицијент  $k = \rho/2$  па се израз за силу отпора ваздуха, (3.19) може да пише у облику:

$$R_v = kc_x A(v \pm w)^2 \quad (3.19)$$

Орјентационо може да се рачуна са вредностима за  $k$ ,

$k \approx 0.61$  за надморску висину 0

$k \approx 0.60$  за надморску висину 200m

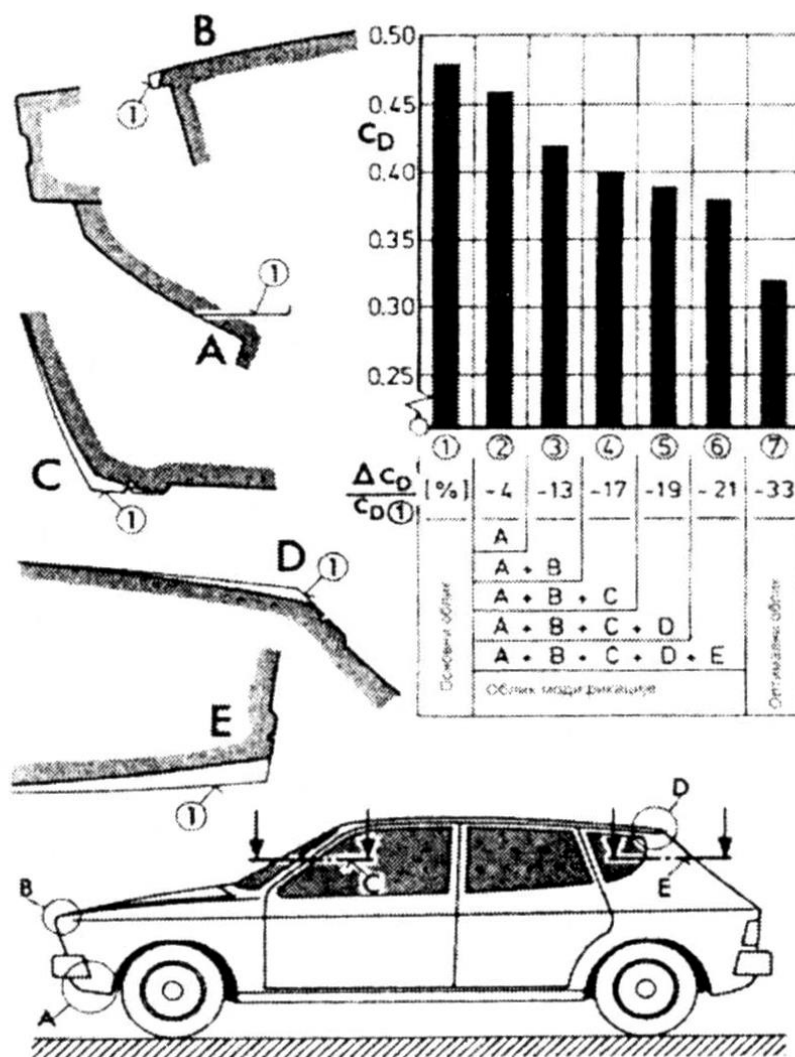
$k \approx 0.57$  за надморску висину 500m

$k \approx 0.50$  за надморску висину 1000m.[2]

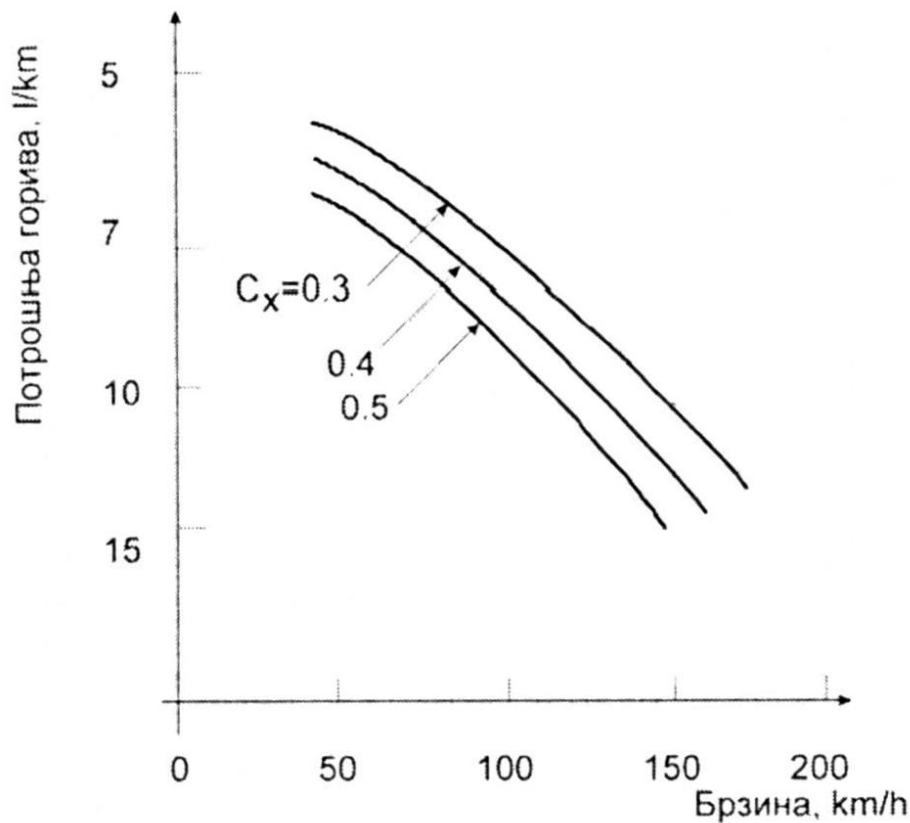
Климатски услови имају утицај на аеродинамичке отпоре возила. Пораст амбијенталне температуре од  $0^{\circ}$ – $38^{\circ}\text{C}$  доводи до смањења аеродинамичких отпора за 14%, а пораст надморске висине од 1219 m смањује отпор ваздуха за 17%. На температури ваздуха од  $15^{\circ}\text{C}$  и барометарском притиску 101.32 kPa, густина ваздуха је  $1,225\text{ kg/m}^3$ . [1]

### 3.4 Коефицијент отпора облика

Коефицијент отпора облика зависи од дизајна возила и оперативних фактора. Најбитнији делови на возилу који се морају пажљиво дизајнирати јер имају велики утицај на коефицијент отпора облика су: предњи део аутомобила, задњи део аутомобила, под, точкови и наплатци, ретровизори, блатобрани, брисачи стакла, кишне летве итд слика 3.6. Све ово утиче на повећање коефицијента облика што повећава отпор ваздуха па самим тим и потрошњу горива што је приказано на слици 3.7. [3]

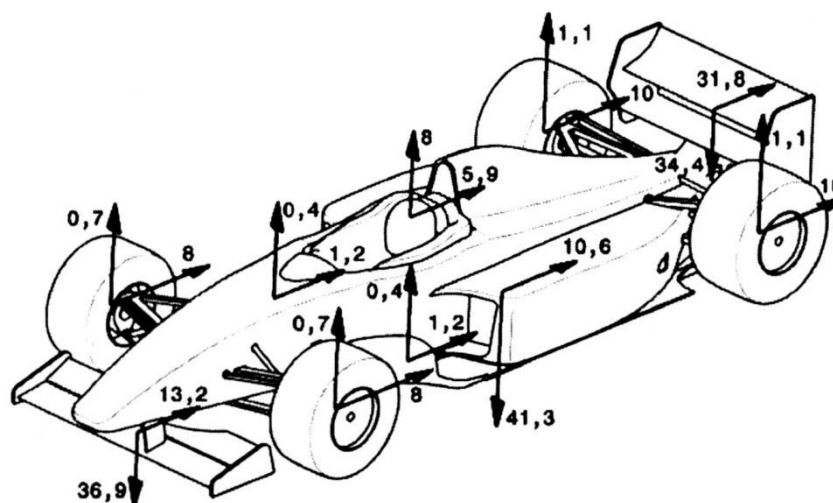


Слика 3.6 Утицај промене облика каросерије на коефицијент отпора облика. [1]



Слика 3.7. Утицај коефицијента отпора облика на потрошњу горива. [1,3]

Да би се смањио коефицијент аеродинамичности на возила се постаљају тзв. спојлери или дефлектори ваздуха који смањују отпор ваздуха у подужном правцу и силу узгона у вертикалном правцу. На слици 3.8 и у табели 3.2 приказан је утицај појединих компонената на укупне силе отпора ваздуха и силе узгона код возила Формуле 1. Највећи утицај на силу узгона имају предњи и задњи спојлер, док на силу отпора ваздуха имају задњи спојлер и задњи точкови. [1]

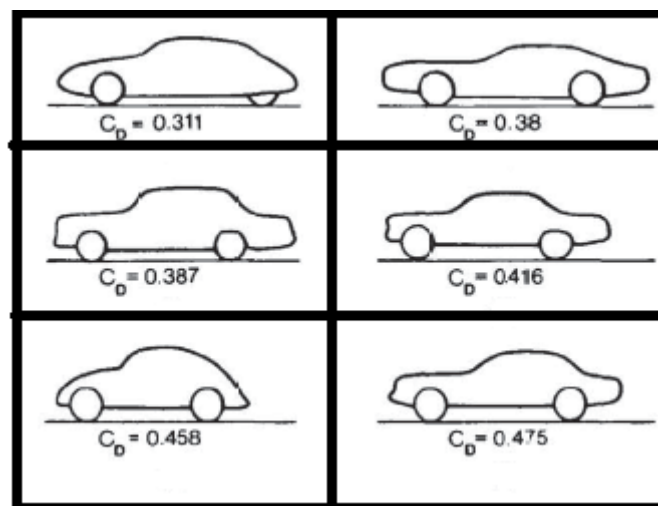


Слика 3.8. Однос коефицијената отпора ваздуха и коефицијената узгона. [1]

**Табела 3.2.** Утицај појединих компонената возила на отпор ваздуха и на силу узгона код болида Формуле 1.[1]

| Компонента      | Отпор ваздуха |       | Сила узгона |      | $c_z/c_x$ |
|-----------------|---------------|-------|-------------|------|-----------|
|                 | $c_x$ , /     | %     | $c_z$ , /   | %    | /         |
| Предњи спојлер  | 0,123         | 13,2  | 0,9699      | 36,9 | 7,859     |
| Задњи спојлер   | 0,297         | 31,8  | 0,899       | 34,4 | 3,029     |
| Подстрој        | 0,099         | 10,6  | 1,080       | 41,3 | 10,911    |
| Предњи точкови  | 0,150         | 16,0  | -0,0038     | -1,4 | -0,251    |
| Задњи точкови   | 0,187         | 20,01 | -0,061      | -2,3 | -0,326    |
| Лаки усмеривачи | 0,023         | 2,4   | -0,02       | -0,8 | -0,889    |
| Остало          | 0,055         | 5,9   | -0,210      | -8,0 | -3,793    |
| Укупно          | 0,934         | 100   | 2,617       | 100  | 2,802     |

На слици 3.9 приказан је коефицијент отпора облика за путничке аутомобиле, а у табели 3.3 коефицијенти отпора облика за одређене категорије возила. За коефицијент отпора облика од великог значаја је угао нагиба ветробранског стакла као и угао нагиба задњег стакла, пуно утиче и стање површине, па су пожељне глатке површине поготово код возила великих дужина (тегљачи, аутобуси) јер смањују коефицијент аеродинамичности.



**Слика 3.9.** Коефицијенти отпора облика за путничке аутомобиле. [3]

У поређењу са путничким аутомобилима, на тешка комерцијална возила као што су камиони са полуприколицом и камиони са приколицом битно утиче угао  $\tau$  који представља угао између правца кретања возила и правца ветра. Тако да доприноси повећању коефицијента отпора облика. За камионе са полуприколицом угао  $\tau$  нема значајан утицај на коефицијент аеродинамичности док код камиона са приколицом чини око 60% аеродинамичког отпора. Да би се побољшале перформансе тешких

**Табела 3.3.** Коефицијенти отпора облика за одређене категорије возила. [1]

| Облик каросерије              | $C_x$ , /      | $A$ , $m^2$    | $C_x A$ , $m^2$ |
|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Моторцикл са возачем          | $0,5 \pm 0,7$  | $0,7 \pm 0,9$  | $0,4 \pm 0,6$   |
| Отворени кабриолет            | $0,5 \pm 0,7$  | $1,7 \pm 2,0$  | $0,85 \pm 1,47$ |
| Затворена лимузина            | $0,22 \pm 0,4$ | $1,7 \pm 2,3$  | $0,4 \pm 0,9$   |
| Аутобус                       | $0,4 \pm 0,8$  | $6,0 \pm 10,0$ | $2,4 \pm 8,0$   |
| Доставно возило (соло)        | $0,45 \pm 0,8$ | $6,0 \pm 10,0$ | $2,7 \pm 8,0$   |
| Доставно возило са приколицом | $0,55 \pm 1,0$ | $6,0 \pm 10,0$ | $3,3 \pm 10,0$  |
| Тегљач                        | $0,5 \pm 0,9$  | $6,0 \pm 10,0$ | $3,0 \pm 9,0$   |

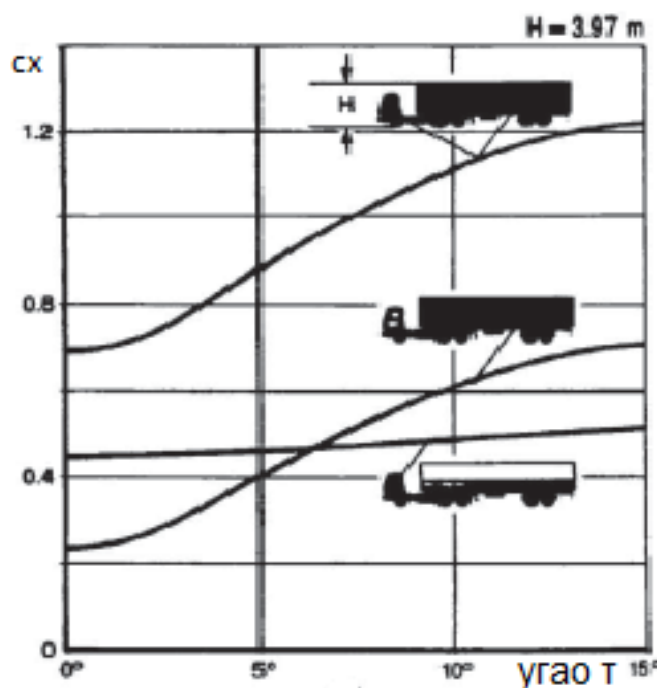
комерцијалних возила на кров камиона постављају се дефлектори ваздуха или тзв. кровни спојлери што показује слика 3.10. Где је приказан утицај различитих типова кровних спојлера на коефицијент отпора ваздуха. Слика 3.11 и 3.12 приказују утицај угла  $\tau$  на коефицијент отпора ваздуха код камиона са приколицом и камиона са полуприколицом без кровног спојлера.

|   |                                                                                     |                |    |                                                                                      |                |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1 |   | $C_x$<br>0.863 | 6  |   | $C_x$<br>0.656 |
| 2 |  | 0.663          | 7  |  | 0.629          |
| 3 |  | 0.660          | 8  |  | 0.820          |
| 4 |  | 0.657          | 9  |  | 0.673          |
| 5 |  | 0.668          | 10 |  | 0.568          |

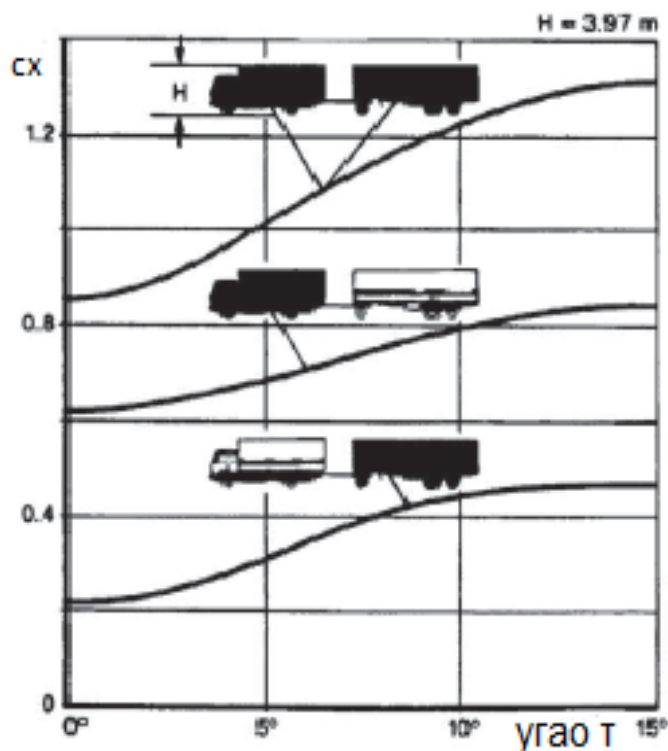
**Слика 3.10.** Утицај кровног спојлера на коефицијент отпора ваздуха. [3]

Може се видети да код најбољих кровних спојлера коефицијент аеродинамичности се смањила и до 24%. Постављањем спојлера између камиона и полуприколице коефицијент аеродинамичности се не смањује значајно. Заобљењем ивица на предњем делу полуприколице и са глатким равним панелима на телу полуприколице коефицијент отпора ваздуха се смањује за 22%.

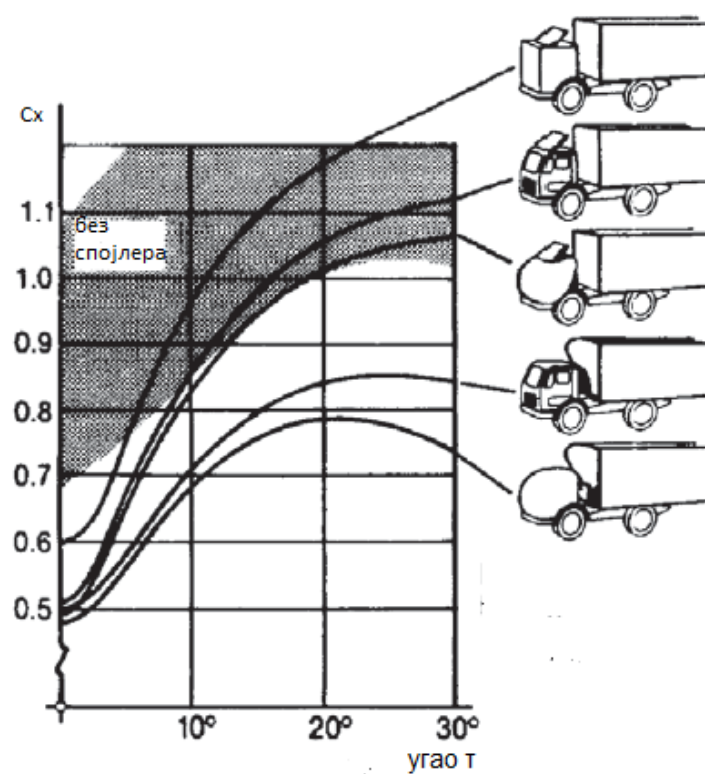
Ако се на то дода и кровни спојлер коефицијент аеродинамичности ће се смањити за 34%. Слика 3.13 такође приказује утицај кровног спојлера на коефицијент отпора ваздуха на камион са полуприколицом при различитим вредностима угла  $\tau$ . [3]



Слика 3.11. Утицај угла  $\tau$  на  $C_x$  код камиона са полуприколицом. [3]



Слика 3.12. Утицај угла  $\tau$  на  $C_x$  код камиона са приколицом. [3]



Слика 3.13. Утицај кровног спојлера код камиона са полуприколицом на  $C_x$  при различитим вредностима угла  $\tau$ . [3]

## 4. Испитивање отпора ваздуха

Испитивање отпора ваздуха може се вршити на три начина:

- испитивање у аеротунелима,
- испитивање у аеротунелима на моделима мањих димензија,
- метода слободног заустављања.

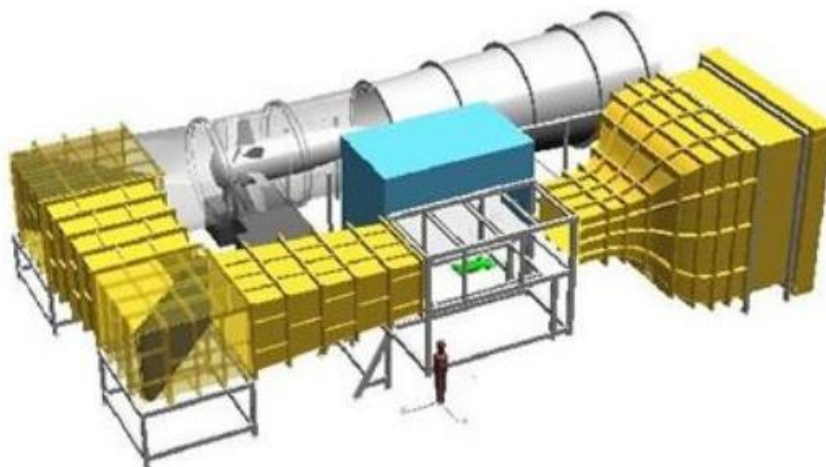
Испитивање отпора ваздуха је знатно сложеније од других типова испитивања на возилу. Од више могућих метода највећа тачност се остварује у аеродинамичким тунелима, какви се користе и за испитивање летилица.

### 4.1 Испитивање у аеротунелима

Аеротунели су основна лабораторијска постројења експерименталне аеродинамике. У њима се контролисано, физички симулира кретање ваздуха. Назив аеротунели је настао, као скраћење, од аеродинамички тунели. Према веома широком спектру намена и потреба испитивања, аеротунели се граде и опремају у различитим варијантама и нивоима инвестиционих трошкова.

У аеротунелима, тело (објекат, нпр. аутомобил, или његов модел) мирује, а ваздух се креће (опструјава га). Примењен је принцип релативности кретања ваздуха и тела, без утицаја на физикалност, ко се креће, а ко мирује. Овај принцип замене референтног стања је, уопштено, усвојен у теоретској аеродинамици, а код аеротунела је основа њиховог рада.

У аеротунелима (слика 4.1) се на аутомобилима, или на његовом моделу, мере стационарне и нестационарне аеродинамичке силе и моменти, локални статички притисци и испитује се облик опструјавања применом метода визуелизације. Поред коришћења за развој разних врста аутомобила, аеродинамика аеротунела је од великог значаја за решавање проблема при пројектовању летилица, бродова, возова, мостова, антенских стубова и других објеката.



Слика 4.1. Приказ аеротинела.[14]

Први аеротунели су изграђени у Енглеској, 1871. и 1884. године. Били су прекидног рада, с резервоарем под притиском.

Аеротунел с вентилатором је изграђен касније, 1890. године.

### Принцип рада

Аеротунели с континуалним струјањем ваздуха се заснивају на обезбеђеној енергији погона, за дуготрајније одржавање потребног режима рада. Пошто постоје техничка ограничења за инсталисање потребне погонске енергије, с таквим аеротунелима се тешко постижу веће брзине од подзвучних.

Аеротунели с континуалним струјањем ваздуха се могу делити на различите начине. То није стандардизовано. Могуће је извршити поделу према конструкцији, према подешености за само неке врсте испитивања, а и на друге начине. Најприсутнија је подела на два основна типа аеротунела. Први је с неповратном ваздушном струјом или Ајфелов тип, други је с повратном ваздушном струјом (слика 4.2) или Прантлов тип. Аеротунели с неповратном ваздушном струјом се искључиво користе за јефтинија и мање захтевна испитивања.

Код аеротунела с повратном ваздушном струјом, исти ваздух исте масе, континуално струји различитом брзином кроз делове аеротунела. Као и код свих аеротунела и овде је највећа брзина струјања ваздуха у радном делу, око модела. У даљем току се ваздух успорава у малом и великом дифузору, ради смањења губитака због трења, са смањењем брзине. У колектору се убрзава, ради постизања задате брзине при улазу у радни део. Трење се може смањити, али се не може потпуно избећи. Губици због трења су увек присутни у облику топлотне енергије, утрошене на загревање ваздуха и зидова аеротунела. Та енергија се одводи преко хладњака или заменом ваздуха са свежим из атмосфере, преко одговарајућих измењивача.



Слика 4.2 Шема аеротунела повратне ваздушне струје.[13]

У циљу смањења губитака се граде аеротунели с двоструким повратним каналима. Кроз два повратна канала се ваздух враћа до колектора са смањеном брзином, па и са смањеним трењем, то јест са смањеним губицима. Ова два повратна канала, се заједно утапају у улаз у колектор. Недостатак ових аеротунела је увећана турбуленција и појава несиметричног струјања у повратним каналима, посебно при постављању модела под углом клизања  $\beta$ . [13]

Помоћу мерног уређаја, који је изведен као шестокомпонентна вага, директно се мери отпор у свим правцима, сила узгона, бочна сила, као и моменти око све три осе. Посебан проблем при испитивањима ове врсте представља симулирање услова пута на спектар опструјавања. Ово се може решити на више начина, посебним поступцима испитивања, или рачунским кориговањем експерименталних резултата.

Шема аеротунела приказана је на слици 4.2, а он се састоји од: погонског агрегат (вентилатор велике снаге приказан на слици 4.3) ,малог и великог дифузора, хладњака и шестокомпонентне ваге.



*Слика 4.3. Погонски агрегат (вентилатор). [14]*

#### **4.2 Испитивање у аеротунелима на моделима мањих димензија**

Аеродинамичке особине аутомобила одређују се када се модел или стварни аутомобил подвргне струјању ваздуха у специјалном аеродинамичком тунелу. Ради се о познатој методи за одређивање аеродинамичких својстава елемената, профила и модела авиона. Само највећи произвођачи путничких аутомобила могу да поднесу трошкове инвестиција за изградњу аеродинамичких тунела у којима се врши испитивање стварног аутомобила, односно израђених модела прототипова у размери 1:1. Много чешће су у примени тунели за испитивање аеродинамичких својстава

модела аутомобила који се обично израђују у размери 1:5 до 1:10. Као што је познато из теорије сличности резултати експеримената са моделом могу се пренети на стварни проблем под условом да је Рејнолдсов број,  $Re$ , исти за модел и за објект у природној величини. Према дефиницији имамо:

$$Re = \frac{\rho l v}{\mu} = \frac{l v}{\nu} \quad (4.1)$$

где су:

$l$  – произвољна димензија модела у [m]; често се узима при испитивању модела аутомобила,  $l = \sqrt{A}$  ( $A$  – чеона површина модела);

$v$  – брзина ваздуха, брзина продувавања у зони модела у [m/s];

$\mu$  – апсолутна или динамичка вискозност у [Ns/m<sup>2</sup>];

$\nu = \mu/\rho$  – кинематска вискозност у [m<sup>2</sup>/s].

Рејнолдсов број за модел можемо да напишемо у облику:

$$Re_1 = \frac{\rho_1 l_1 v_1}{\mu_1} = \frac{l_1 v_1}{\nu_1} \quad (4.2)$$

а за стварни аутомобил:

$$Re_2 = \frac{\rho_2 l_2 v_2}{\mu_2} = \frac{l_2 v_2}{\nu_2} \quad (4.3)$$

Ако са »м« означимо размеру (1:5-1:10), наиме  $l_1 = m l_2$ , добијамо потребан услов за испитивање модела:

$$\frac{m l_2 v_1}{\nu_1} = \frac{l_2 v_2}{\nu_2} \quad (4.4)$$

За ваздух можемо да узмемо:

$$\mu = 1,745 \cdot 10^{-5} + 5,03 \cdot 10^{-8} t \quad (4.5)$$

односно за  $T = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

$$\mu = 1,82 \cdot 10^{-5} \quad (4.6)$$

Рачунајући даље за нормалне услове ( $T = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $B = 760 \text{ mm Hg}$  стуба) добијамо:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \approx 1,45 \cdot 10^{-5} \quad (4.7)$$

Коначно, можемо да напишемо:

$$Re = \frac{v \cdot l}{1,45 \cdot 10^{-5}} = 69000 \, vl. \quad (4.8)$$

Узимајући да се кинематски вискозитет,  $\nu$ , практично не мења у оба случаја, можемо да посматрамо производ  $\nu l$  уместо Рејнолдсовог броја, који се, стога, назива карактеристика опита.

Да бисмо остварили једнакост Рејнолдсових бројева за модел и стварни аутомобил ( $Re_1 = Re_2$ ) потребно је, да повећамо брзину струјања ваздуха 1/м пута. При овоме се појављују нове тешкоће скопчане са високим брзинама ваздуха. (На пример ако је модел урађен у размери 1:10 па се жели да испита коефицијент отпора облика аутомобила на 120 [km/h], потребно је обезбедити струју ваздуха чија ће брзина бити 1200 [km/h] или 324 [m/s], дакле већа од брзине звука.

Други начин је да се уместо ваздуха користи течност са мањом вредношћу кинематске вискозности.

Тако је кинематска вискозност воде при температури од 15°C једнака  $\nu_1 = 0.1145 \cdot 10^{-5}$  што је за 12,7 пута мања вредност од кинематске вискозности ваздуха. Дакле, ако се користимо водом можемо да одаберемо размеру за модел  $m = 1:12,7$  па да брзине модела одговарају стварним брзинама аутомобила ( $\nu_1 = \nu_2$ ). [2]

### 4.3 Метода слободног заустављања

Метода слободног заустављања је једна од најчешће коришћених путних метода за мерење збира отпора ваздуха и отпора котрљања (без погона, са искљученом спојницом, успорава се на равном путу, без ветра, само под дејством сопствених отпора кретању).

Полази се од вучног биланса кретања моторног возила:

$$Fo = Rf + Rv \pm R \propto \pm Ri \quad (4.9)$$

И проширених израза компонента отпора:

$Rf = Gf \cos \alpha$  - отпор котљања

$Rv = \frac{Cx}{2} * \rho * A * v^2$  - отпор ваздуха

$R \propto G \sin \alpha$  - отпор нагиба пута

$Ri = \delta m \frac{dv}{dt}$  - отпор инерцијалних сила

$$Fo = Gf \cos \alpha + \frac{Cx}{2} * \rho * A * v^2 \pm G \sin \alpha \pm \delta m \frac{dv}{dt} \quad (4.10)$$

Експеримент слободног заустављања возила спроводи се на хоризнталном путу,  $\alpha = 0$  и са раздвојеном трансмисијом од мотора,  $Fo = 0$ .

$$0 = Gf + \frac{c_x}{2} * \rho * A * v^2 \pm \delta m \frac{dv}{dt} \quad (4.11)$$

Раздвајањем променљивих и интеграљењем, одређује се време процеса слободног заустављања:

$$dt = - \frac{dv}{\frac{g}{\delta \cdot G}(Gf + Wv^2)} \quad (4.12)$$

$$t = \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{\frac{g}{\delta \cdot G}(Gf + Wv^2)} \quad (4.13)$$

Са уведеним ознакама:

$$W = \frac{c_x}{2} * \rho * A$$

Фактор аеродинамичности возила,  $v_1$  - почетна брзина  $v_2$  - крајња брзина.

Израз дефинише време слободног заустављања за општи случај променљивог коефицијента отпора котрљања,  $f = f(v)$ .

Да би се одредио отпор ваздуха неопходно је претходно или накнадно одредити отпор котљању.[12]

## 5. Закључак

У најопштијем случају кретању возила супростављају се следеће силе отпора: отпор при котрљању, отпор инерцијалних сила, отпор нагиба пута, отпор прикључних возила, радни отпор и отпор ваздуха. Са обзиром на савремене захтеве код возила се све више усмерава пажња на његову аеродинамичност. Од многобројних фактора можемо издвојити две најутицајније групе фактора које посебно истичу значај аеродинамичности моторних возила и захтевају врло детаљна истраживања. Истраживања се базирају како на облик аутомобила у целини тако и на сваки појединачни спољашњи део. Најбитнији фактори су: економичност потрошње горива, динамичко понашање аутомобила и стабилност.

Чињеница је да већ при брзинама од око 60 km/h, отпор ваздуха путничког аутомобила на хоризонталном путу достиже око 50% од укупних отпора кретања. При вишим брзинама, на пример, при брзинама од око 90 до 120 km/h, отпор ваздуха путничког аутомобила достиже 65% до 75% од укупног отпора кретања. Смањењем овог отпора постиже се драстично смањење потребне снаге за њихово савлађивање што доводи до смањења потрошње горива и повећања динамичности возила. Такође, смањењем опора ваздуха редукују се аеродинамичке силе и моменти који делују на возило што доводи до повећања стабилности и управљивости при кретању.

Код теретних возила и аутобуса услед другачије конструкције и већих чеоних површина, габарита возила и утицаја прикључних возила, јако је битно да отпор ваздуха а самим тим и коефицијент отпора облика буду што ниже вредности. Да би се то постигло код ових моторних возила спољни облици и површине се конструишу тако да: имају што мање прекидних зона, да спољашње површине буду глатке и равне, и уграђивањем посебних елемената (спојлера) обезбеде што боље опструјавање ваздуха. Овим мерама се обезбеђује, као и код путничких аутомобила, повећана динамичност возила и смањена потрошња горива као и боља стабилност и управљивост.

Тенденције развоја у овој области теже ка што већем смањењу отпора ваздуха и коефицијента отпора облика што се може видети на свим новијим моделима аутомобила. Производе се на такав начин да теже идеалном аеродинамичком облику који изгледа као обрнута капљица воде.

## Литература

- [1] Демић М., Лукић Ј.: **Теорија кретања моторних возила**, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [2] Симић Д.: **Моторна возила**, Научна књига, Београд, 1988.
- [3] Wong J. Y. **Theory of the ground vehicles**, John Willey & Sons, 2001.
- [4] Стефановић А.: **Друмска возила**, Центар за моторна возила и моторе Машинског факултета и Центар за безбедност саобраћаја Машинског факултета у Крагујевцу, 2010.
- [5] Кнор. П.: Пројектовање и конструкција моторних возила, Машински факултет Сарајево, 2005/207.
- [6] Јанићијевић, Н., Јанковић Д., Тодоровић Ј.: Конструкција моторних возила, Машински факултет Београд, 1991.
- [7] Reimpell J., Betzler J.: Fahrwerktechnik: **Grundlagen**, Vogel Buchverlag, Wuertzburg, 2000.
- [8] Jazar ,R.: **Vehinle dynamics, Theory and applicaton**, Springer, 2008.
- [9] Heibling, B. Ersoy (Hrsg.) M.: **Fahrwerkhandbuch**, Vieweg + Teubner Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008.
- [10] Јанковић Д., и др.: **Теорија кретања моторних возила**, Машински факултет Београд, 2001.
- [11] Новак З.: Динамика вожње 1, Велеучилиште у Ријеци, 2012/13.
- [12] Тодоровић Ј.: **Испитивање моторних возила**, Машински факултет Београд, 1986.
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_tunnel](http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_tunnel), 01.10.2014.
- [14] <http://glavni.mazda.co.me/Modeli/MazdaCX5/Performanse/tabid/7894/> 03.10.2014.
- [15] <http://cartype.com/pages/5208/engines> 03.10.2014.
- [16] <http://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0:Transmisija.png> 03.10.2014.
- [17] [http://www.auto-repair-help.com/automotive\\_maintenance/steering\\_system.php](http://www.auto-repair-help.com/automotive_maintenance/steering_system.php) 03.10.2014.
- [18] <http://www.platinumautoservice.com/brake-repair> 03.10.2014.
- [19] <http://maybach300c.blogspot.com/2012/09/mcpherson-struts-and-strut-damper.html> 03.10.2014.
- [20] <http://dipem.mazda-rs.com/Modeli/Mazda-CX-5/Funkcije/Tehni%C4%8Dke-funkcije> 03.10.2014.
- [21] [http://www.boston.com/cars/news/articles/2008/09/16/gm\\_unveils\\_production\\_chevrolet\\_volt/](http://www.boston.com/cars/news/articles/2008/09/16/gm_unveils_production_chevrolet_volt/) 03.10.2014.