

# ДИНАМИКА ВОЗИЛА

Предметни наставник:

Др Бранислав Александровић, дипл. инж.

професор струковних студија

Асистент

Васиљевић Саша, маст. инж. маш.

# Статус предмета и опште информације о предмету ДИНАМИКА ВОЗИЛА

**Статус предмета: ИЗБОРНИ ПРЕДМЕТ**

НАЧИН ПОЛАГАЊА ЗАВРШНОГ ИСПИТА  
**УСМЕНО ПОЛАГАЊЕ**

**Број ЕСПБ: 6**

**УСЛОВ ЗА СЛУШАЊЕ ИСПИТА:**

**Положен испит из предмета Механика 1. Одслушан предмет Механика 2**

# НАСТАВА ИЗ ПРЕДМЕТА ДИНАМИКА ВОЗИЛА

ТЕОРИЈСКА НАСТАВА

ПРАКТИЧНА НАСТАВА

3

+

2

# УСЛОВ ЗА ПОЛАГАЊЕ ИСПИТА И ПРЕДИСПИТНЕ ОБАВЕЗЕ

Активност у току предавања

5 ПОЕНА

Практична настава

5 ПОЕНА

Колоквијум-и

20 ПОЕНА

Семинар-и

20 ПОЕНА

МИНИМАЛАН БРОЈ ПОЕНА ПОТРЕБАН ЗА ИЗЛАЗАК НА ИСПИТ ЈЕ 30!

**ЗАВРШНИ ИСПИТ СЕ ПОЛАЖЕ УСМЕНО** И МАКСИМАЛАН БРОЈ ПОЕНА НА УСМЕНОМ  
ИСПИТУ ЈЕ 50 ПОЕНА!



# ЦИЉ И ИСХОД ПРЕДМЕТА ДИНАМИКА ВОЗИЛА

## ЦИЉ ПРЕДМЕТА

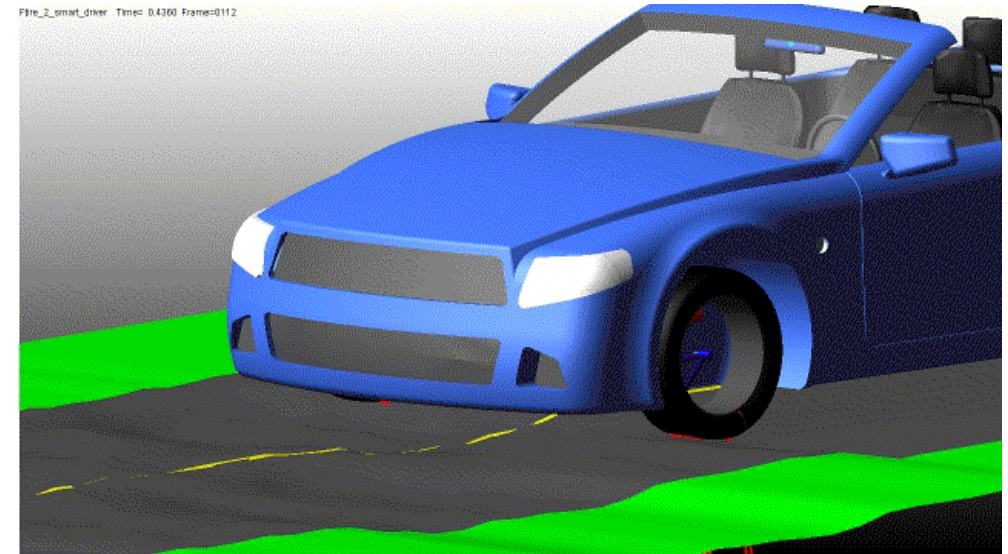
Студенти стичу знања и схватају возило као сложени динамички систем. Примена принципа и динамичких закона кретања дискретних маса и одређивања динамичких реакција код различитих модела (вертикална динамика, подужна динамика, заокретање). Објашњење слободних осцилација (галопирање, ваљање, пливање) и њиховог значаја за стабилност и удобност. Објашњење интеракција између возила и пута (пнеуматика) и између возила и возача (удобност). Силе које делују на возило (неравнине пута, вожња у кривини) са посебним освртом на аеродинамику возила.

## ИСХОД ПРЕДМЕТА

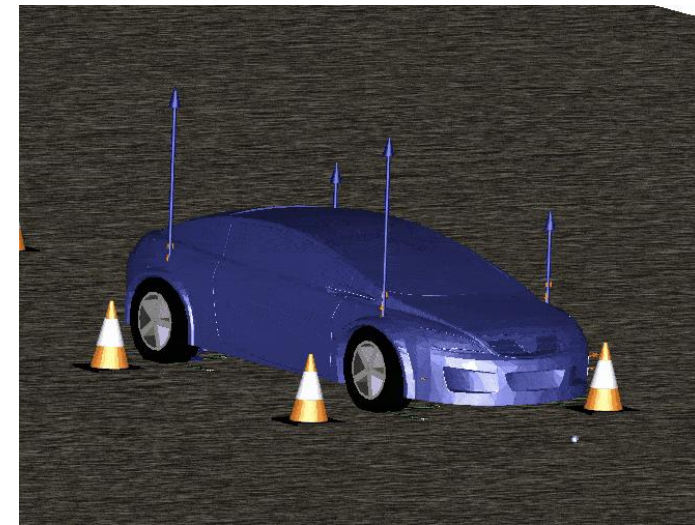
Студент ће бити оспособљен да познаје узроке осциловања возила и јасно види интеракције између система. Поседоваће потребно знање за одређивање доминантних степени слободе и знаће да постави једначине за различите моделе возила, као и да уочи које силе делују на возило. Имаће основна знања из области стабилности возила

# ТЕМАТСКЕ ЦЕЛИНЕ У ЦИЉУ ПОСТИЗАЊА ИСХОДА И ЦИЉЕВА ПРЕДМЕТА

Основе осциловања дискретних маса. Узроци осциловања возила. Пут као узрок осциловања возила. Осцилације возила у подужној равни



Динамичке реакција точка. Удобност возила.

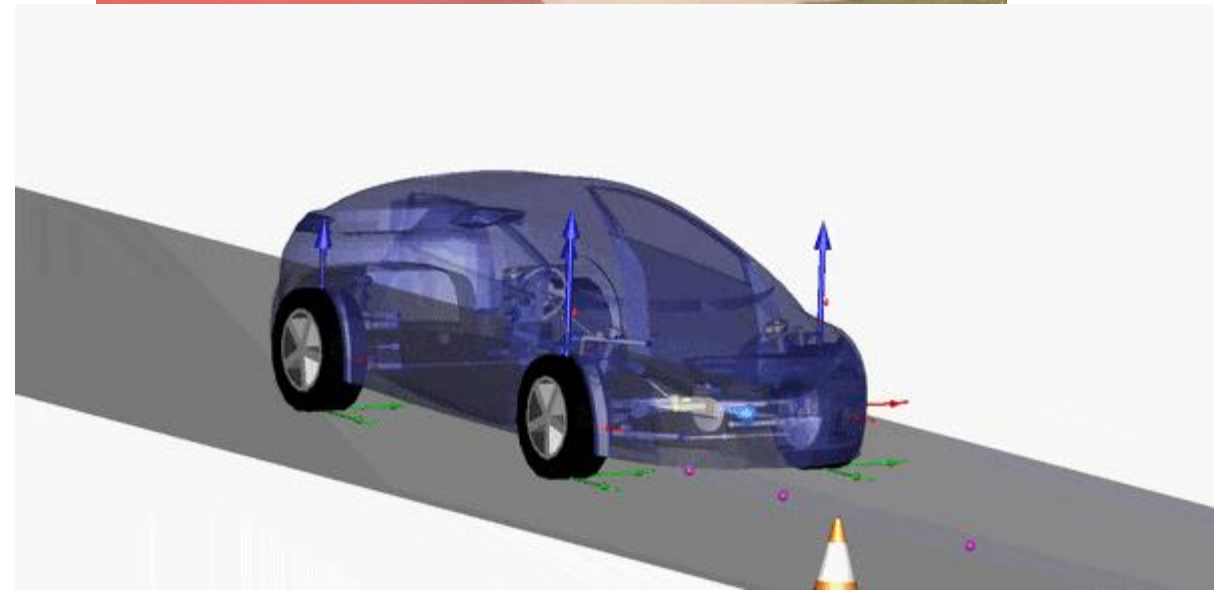


# ТЕМАТСКЕ ЦЕЛИНЕ У ЦИЉУ ПОСТИЗАЊА ИСХОДА И ЦИЉЕВА ПРЕДМЕТА

Подужна стабилност.

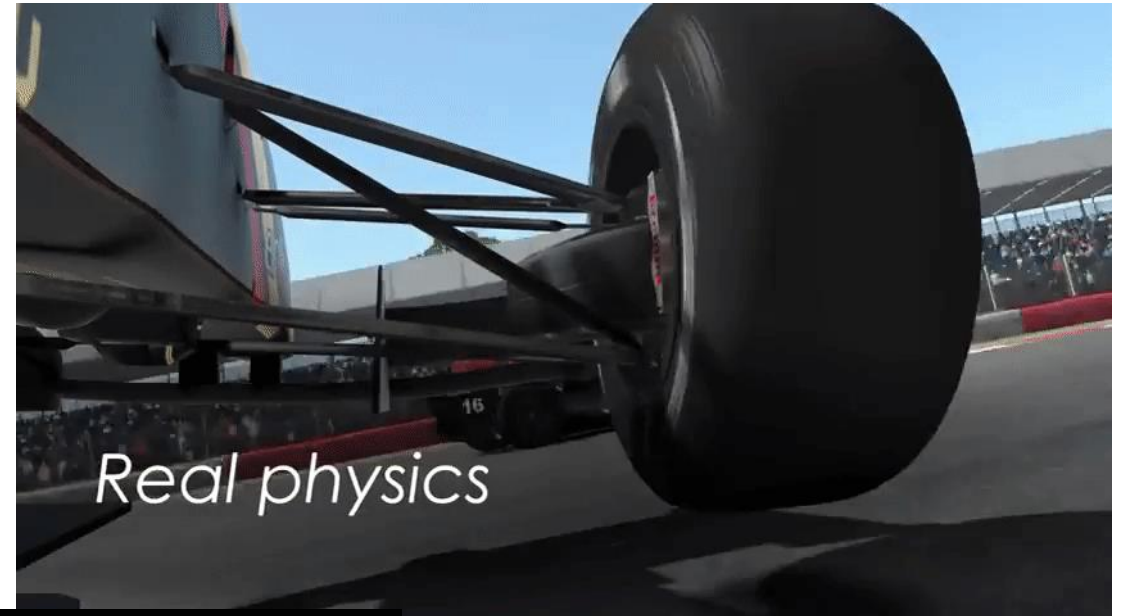


Динамика кочења возила, динамичке реакције тла, услови стабилности возила током кочења.

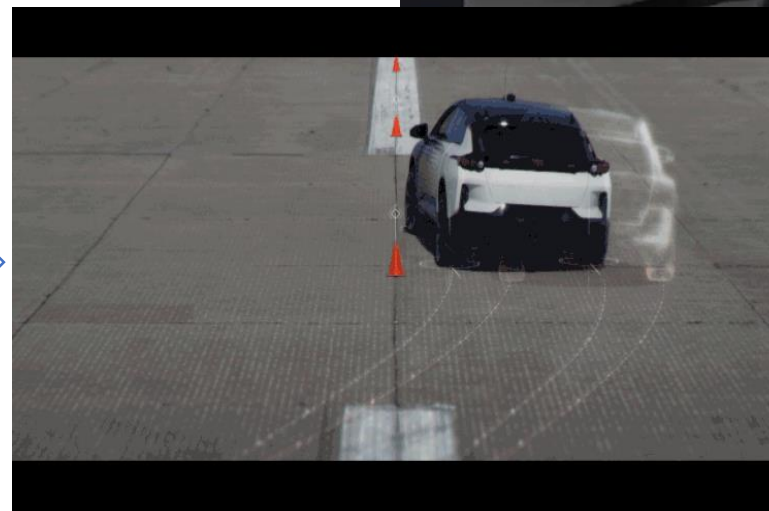


# ТЕМАТСКЕ ЦЕЛИНЕ У ЦИЉУ ПОСТИЗАЊА ИСХОДА И ЦИЉЕВА ПРЕДМЕТА

Понашање пнеуматика у различитим режимима кретања, преношење динамичких реакција тла.



Управљање, бочна стабилност (услови, динамичке реакције, критеријуми управљивости).





# ШТА ЋЕМО ЈОШ РАДИТИ И АНАЛИЗИРАТИ НА ПРЕДАВАЊИМА И ВЕЖБАМА У ЦИЉУ САВЛАЂИВАЊА ПРЕДМЕТА И СТИЦАЊА ЗНАЊА ИЗ

## ДИНАМИКЕ ВОЗИЛА

ПРЕГЛЕД САВРЕМЕНИХ СИСТЕМА ЗА ИСПИТИВАЊЕ  
ОСЦИЛАЦИЈА ВОЗИЛА

ПРИМЕНА САВРЕМЕНИХ СОФТВЕРСКИХ СИСТЕМА

ПРЕГЛЕД РЕЗУЛТАТА НАУЧНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ  
ДИНАМИКЕ ВОЗИЛА

ПРОРАЧУН ПРАКТИЧНОГ ПРИМЕРА АНАЛИЗЕ  
ДИНАМИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА РЕАЛНОГ ВОЗИЛА

УТИЦАЈ РАЗЛИЧИТИХ ФАКТОРА НА УДОБНОСТ, СТАБИЛНОСТ  
И УПРАВЉИВОСТ

ИТД.

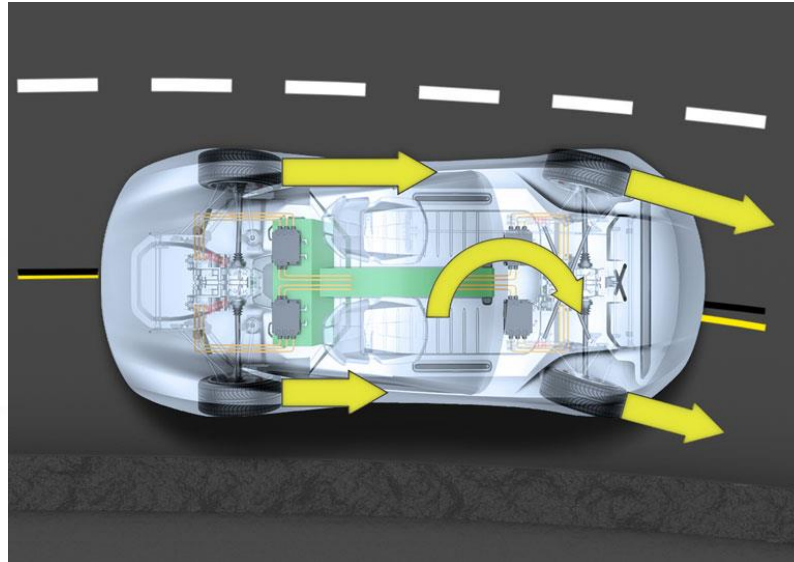
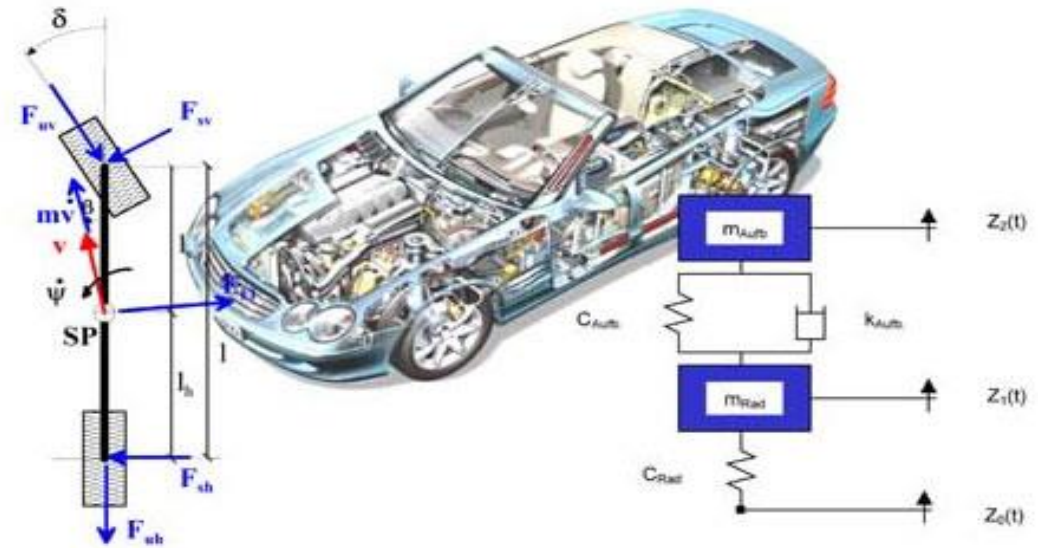
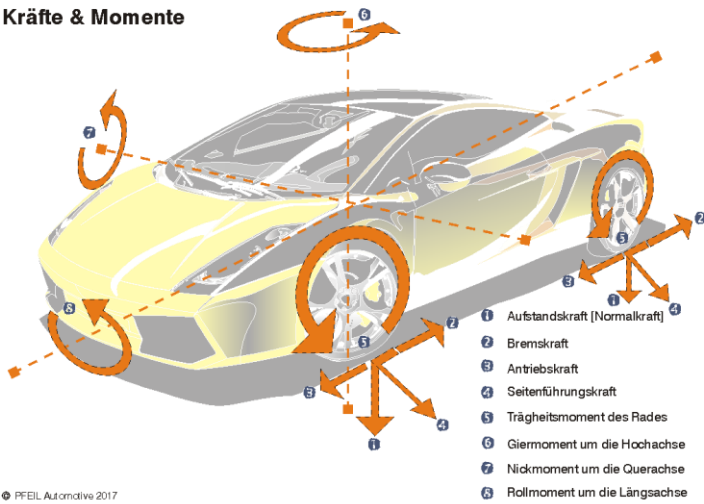
# Препоручена литература

Јанковић А.: „Динамика аутомобила“, Машински факултет у Крагујевцу, 2008.

За израду семинарских радова и едукацију могуће је користити и другу литературу везану за динамику возила

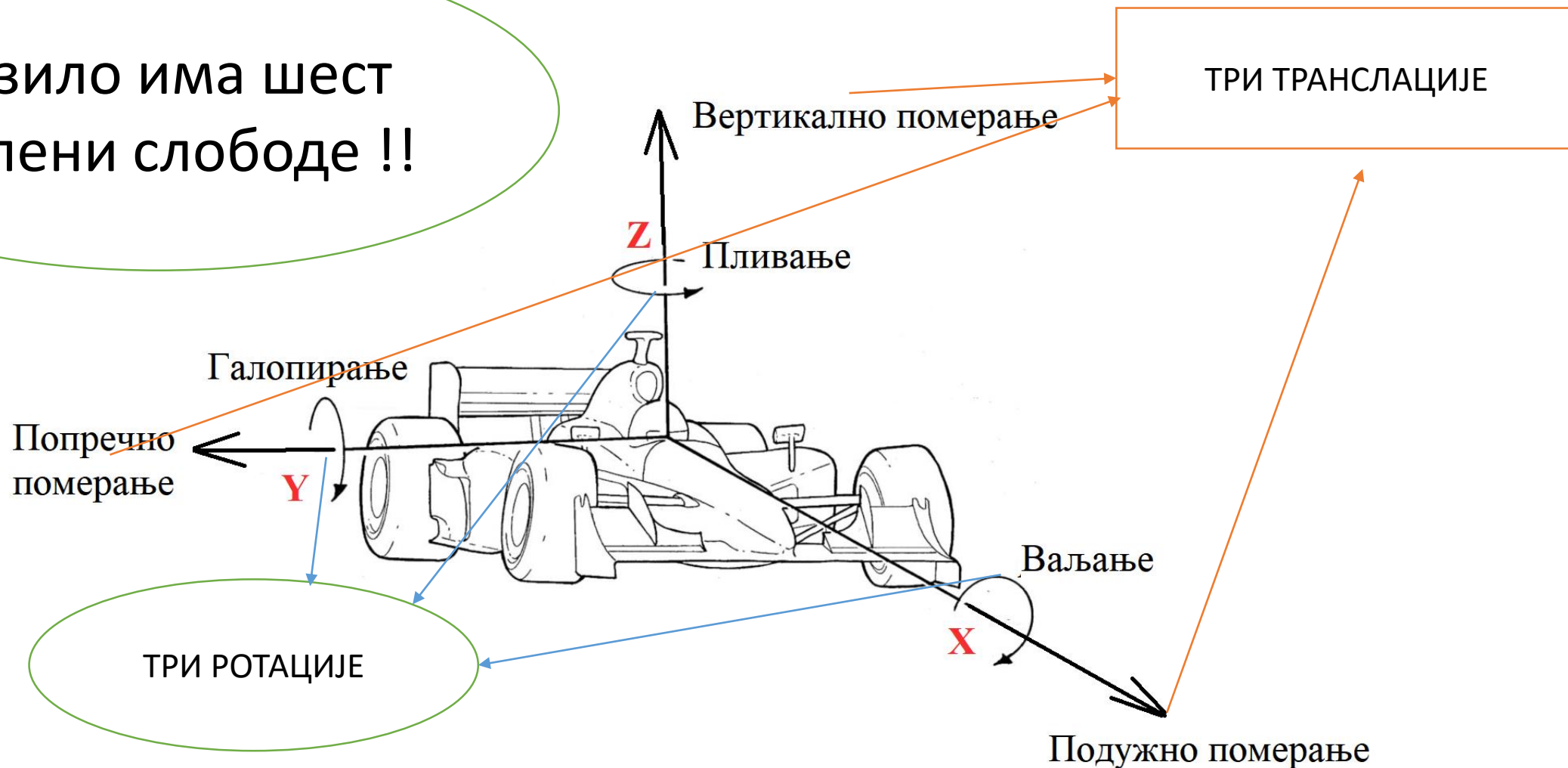
# ОСНОВНИ ДИНАМИКЕ ВОЗИЛА, ОСЦИЛАЦИЈЕ И МОДЕЛИ ВОЗИЛА

Kräfte & Momente

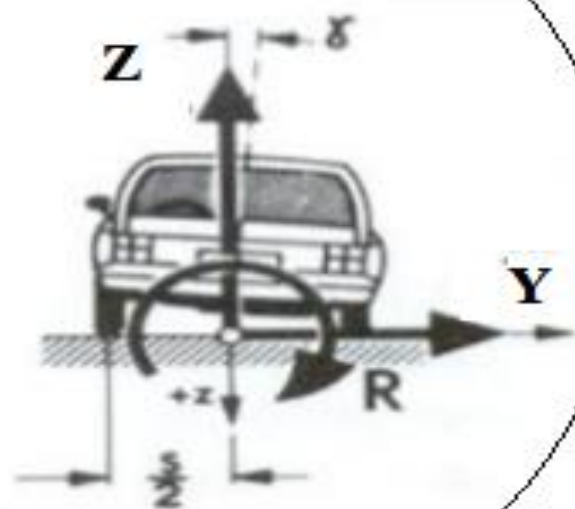


# Степени слободe возила

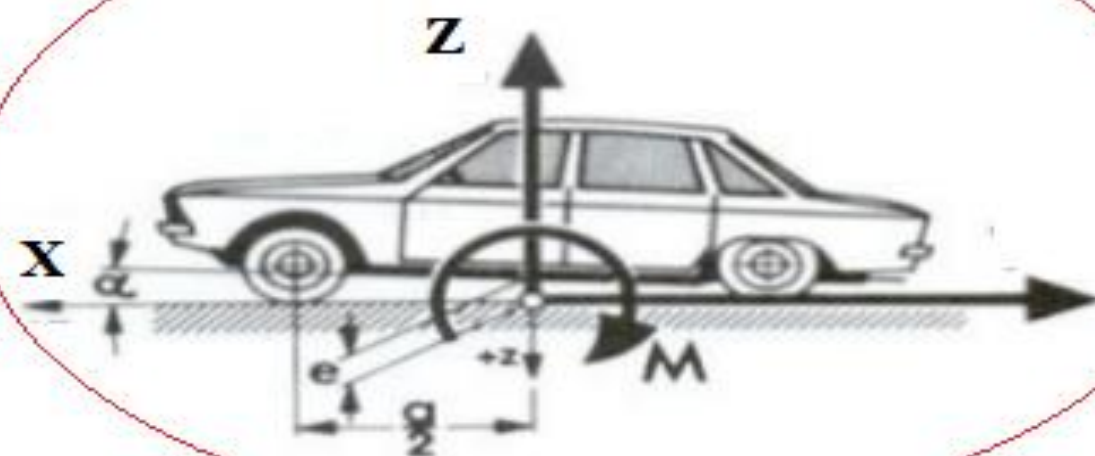
Возило има шест степени слободe !!



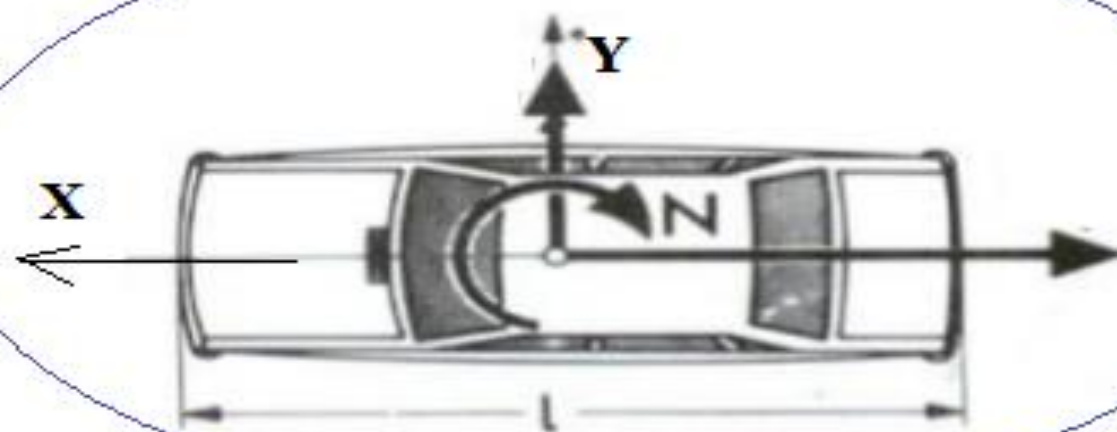
### ВАЉАЊЕ



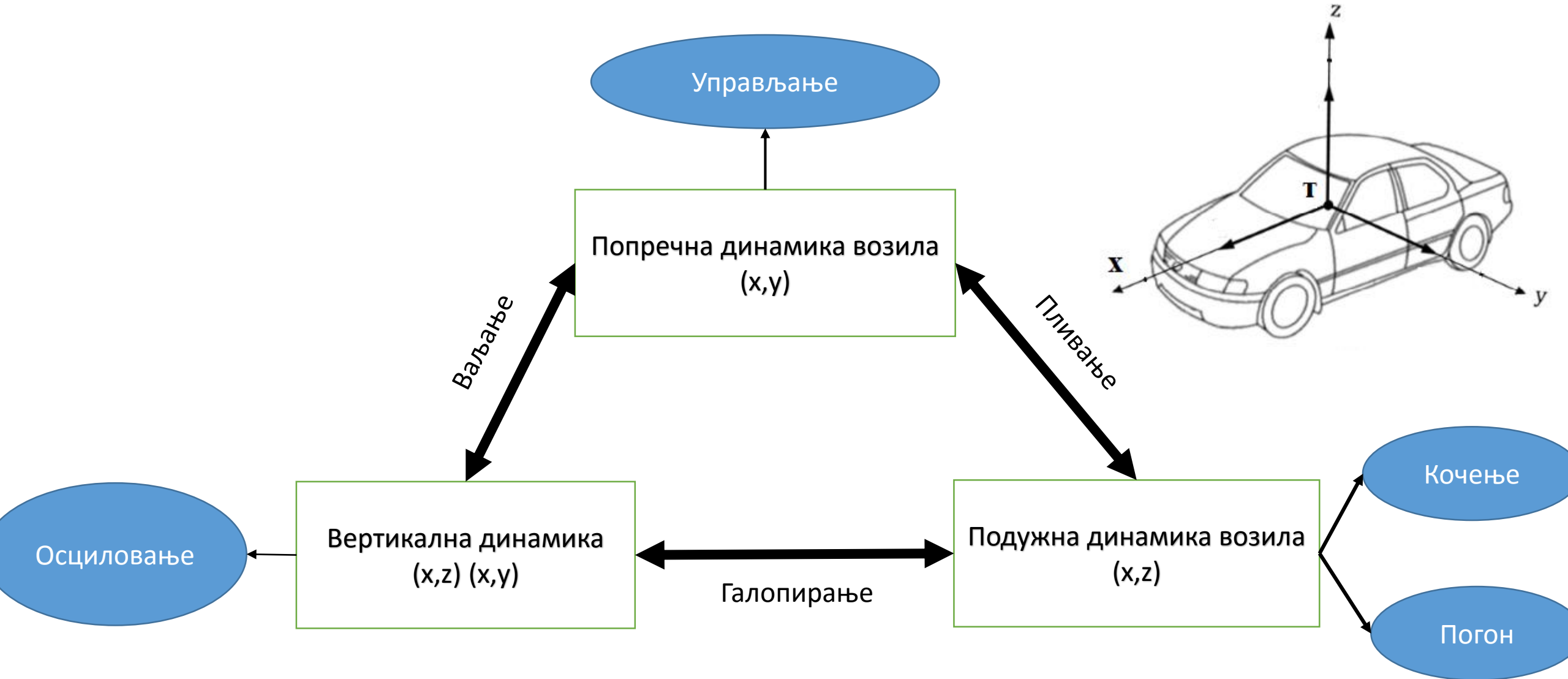
### ГАЛОПИРАЊЕ



### ПЛИВАЊЕ



# ОБЛАСТИ ДИНАМИКЕ ВОЗИЛА (СТРУКТУРА ДИНАМИКЕ ВОЗИЛА)



# ОСЦИЛАЦИЈЕ ВОЗИЛА

Алтернативно и периодично транслаторно или угаоно померање означавамо општим термином осцилације (вибрације).

ДА НЕМА ПОБУДЕ НЕ БИ БИЛО НИ ОСЦИЛАЦИЈА

Побудом се назива поремећај који изазива промену кретања или излазак из статичке равнотеже тела.

Побуде возила: неравнине на коловозу, неуравнотежени системи или елементи возила (системи са алтернативним или дисконтинуалним кретањем – мотор и елементи трансмисије – нпр. карданска вратила, течни терет), неуравнотежени точкови и друге ротирајуће масе, неуједначене силе у контакту точкова и подлоге, управљачке команде, кочне силе и моменти, издувни систем и струјање ваздуха.

# ОСЦИЛАЦИЈЕ ВОЗИЛА

ОСНОВНИ ИЗВОРИ ПОБУДЕ:



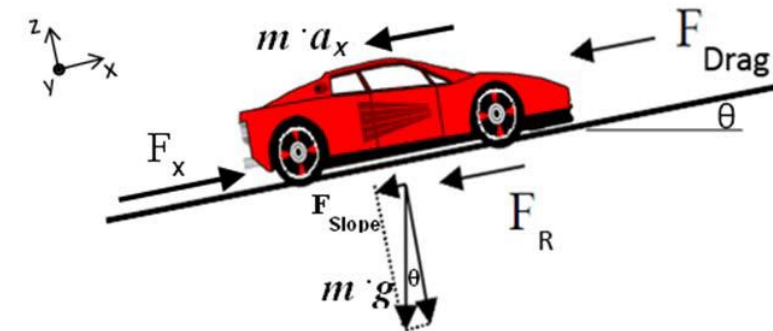
ПОБУДА САОПШТЕНА  
ПОМЕРАЊЕМ

Неравнине подлоге померају  
точак, померање се преноси  
на систем ослањања и  
побуђује ослоњену масу на  
осциловање



ПОБУДА САОПШТЕНА СИЛОМ

Инерцијалне силе  
неуравнотежених маса делују  
директно на ослоњену масу и  
побуђују осцилације

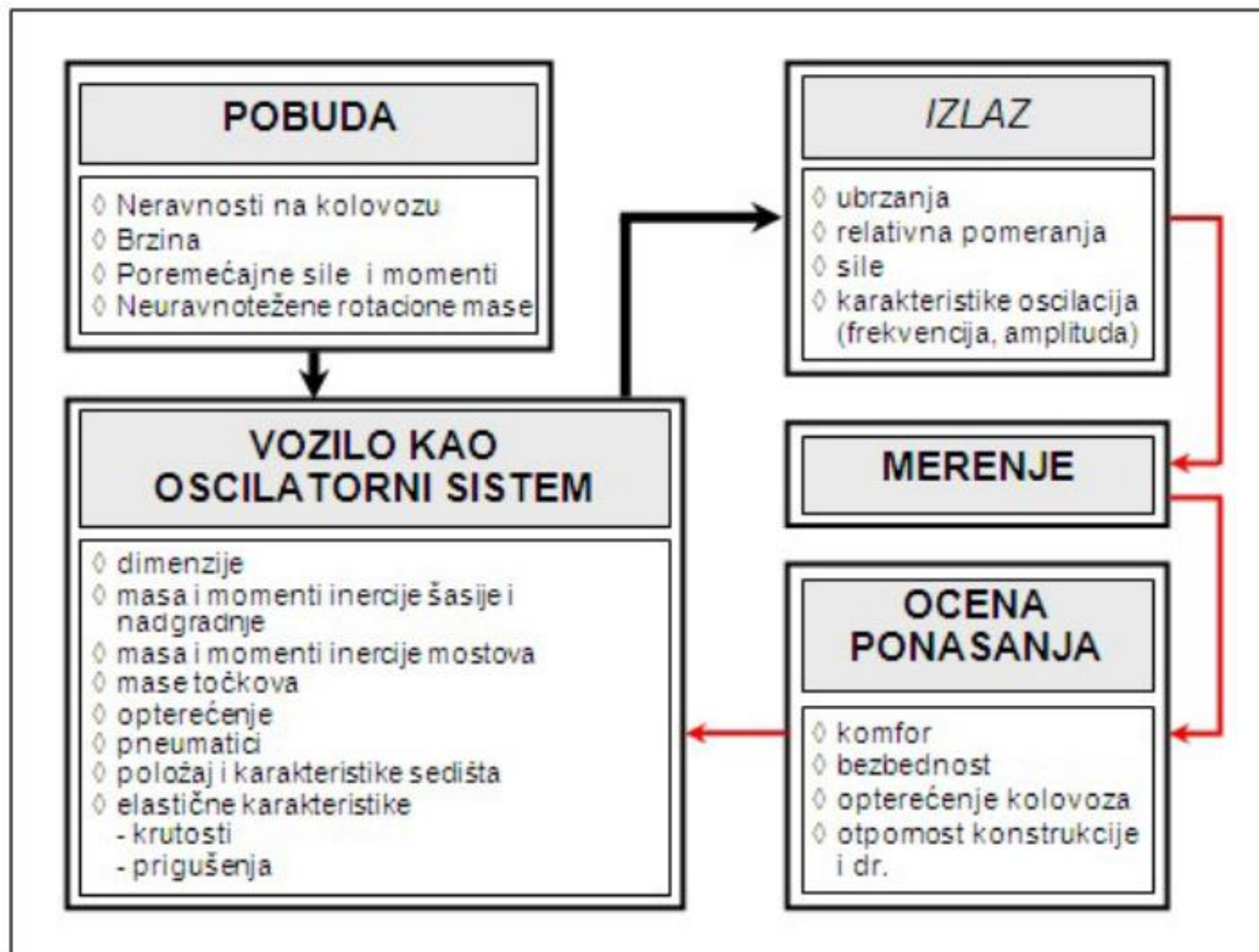




# Основе осцилаторних карактеристика моторних возила

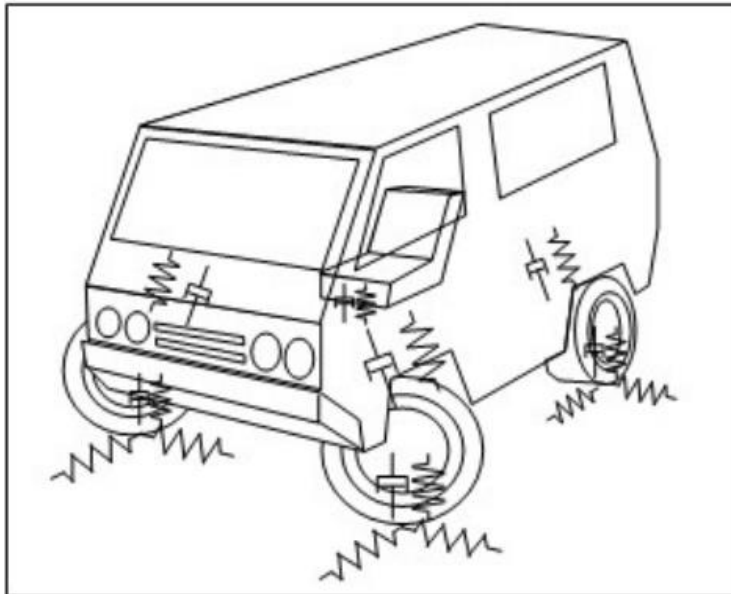


# Алгоритам разматрања осцилаторног понашања возила



# ОСЦИЛАТОРНИ МОДЕЛ ВОЗИЛА

Возило представља сложен динамички систем састављен од великог броја елемената који су међусобно повезани везама са сопственом крутошћу и пригушењем.



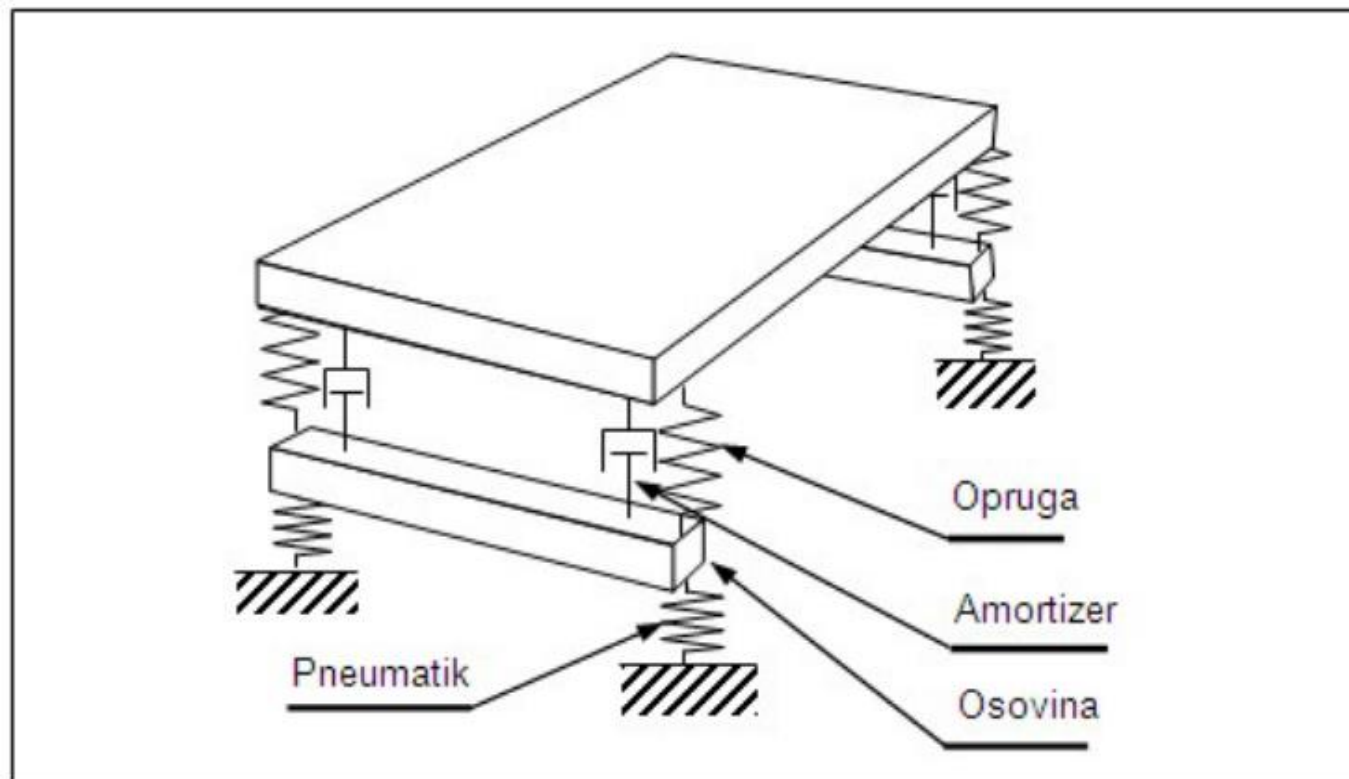
Будући да је реални осцилаторни систем возила због броја елемената веома сложен, динамичка анализа подразумева велики број степени слободe и разматрање многобројних веза и њихових карактеристика.

Да би се дошло до практичних решења, неопходно је да се број степени слободe редукује, уведу разна упрошћења и анализирају поједностављени модели.

# ОСЦИЛАТОРНИ МОДЕЛ ВОЗИЛА

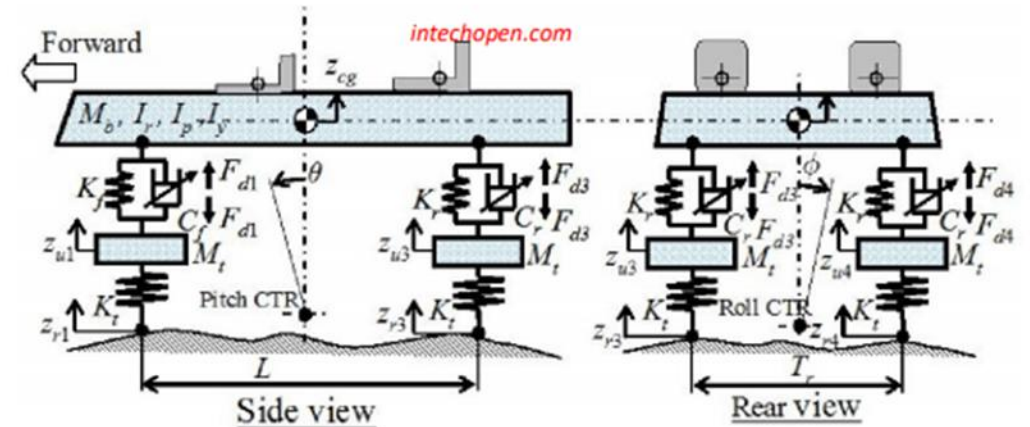
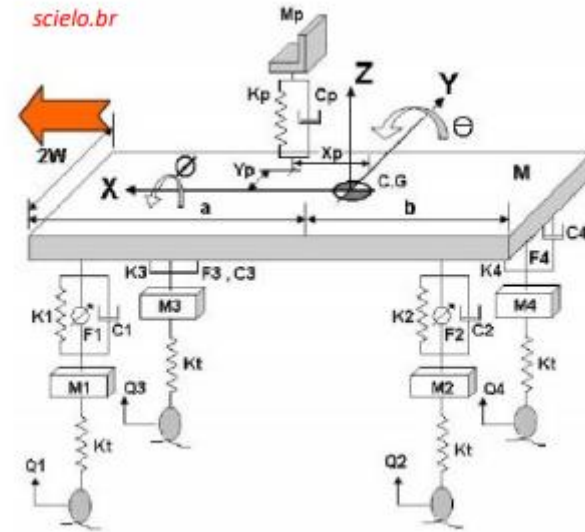
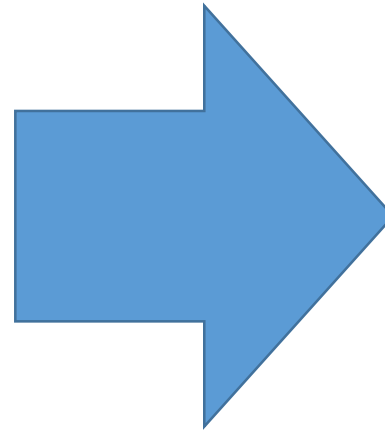
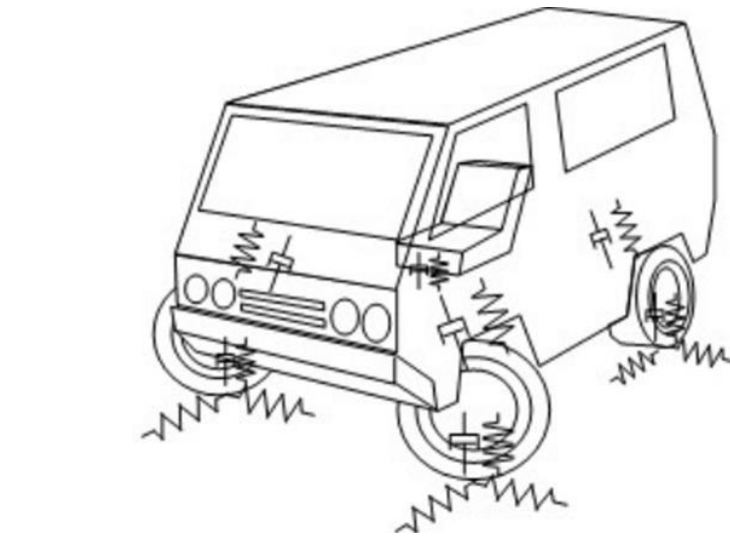
Возило се може посматрати као систем крутих тела која су међусобно повезана елементима система за ослањање (еластични елементи, амортизери, водеће полуге) и другим везним елементима.

МОДЕЛ ВОЗИЛА СА ЗАВИСНИМ СИСТЕМОМ ЕЛАСТИЧНОГ ОСЛАЊАЊА

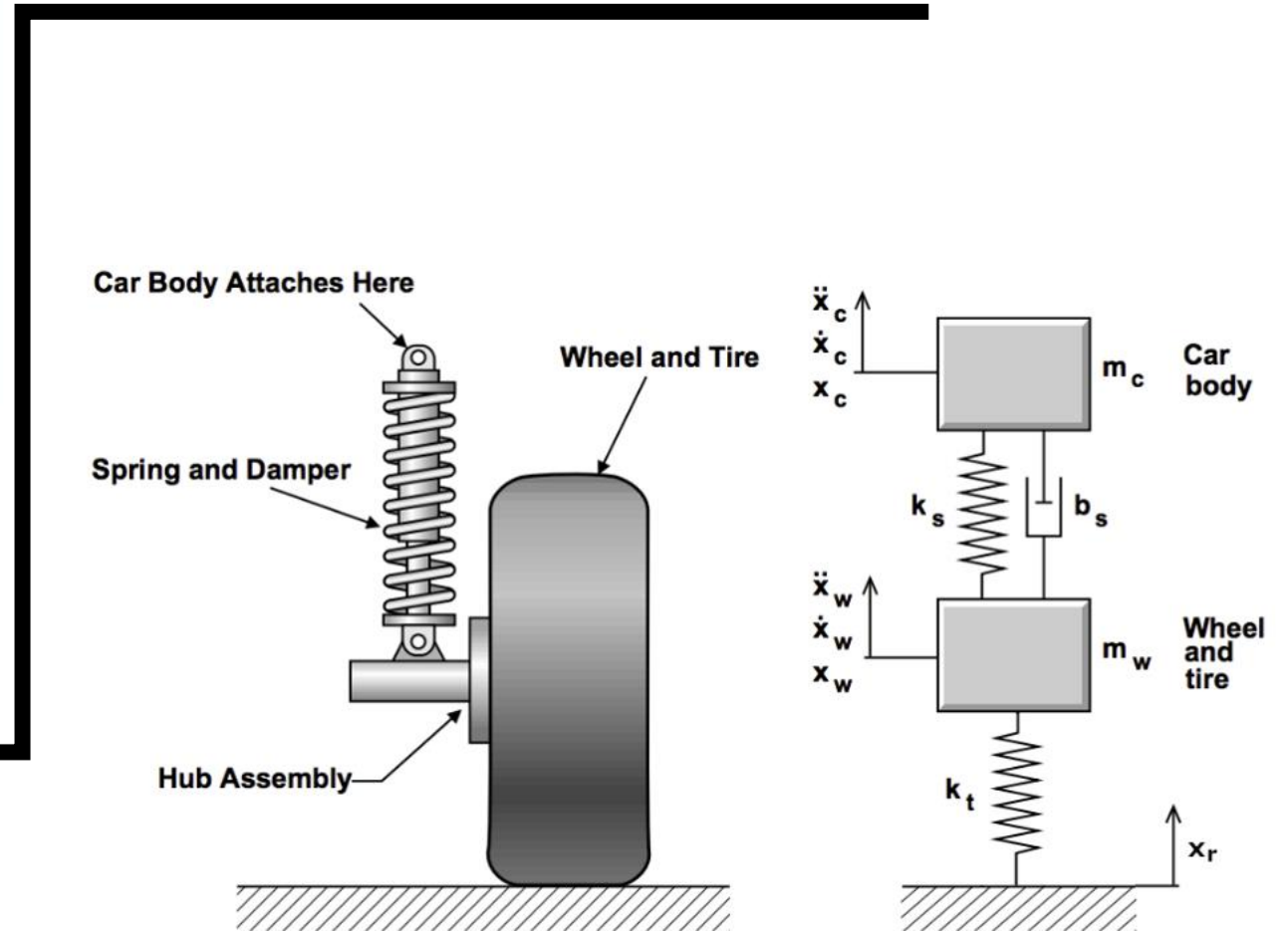
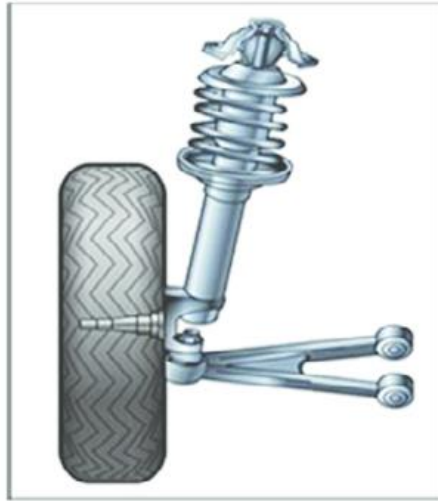
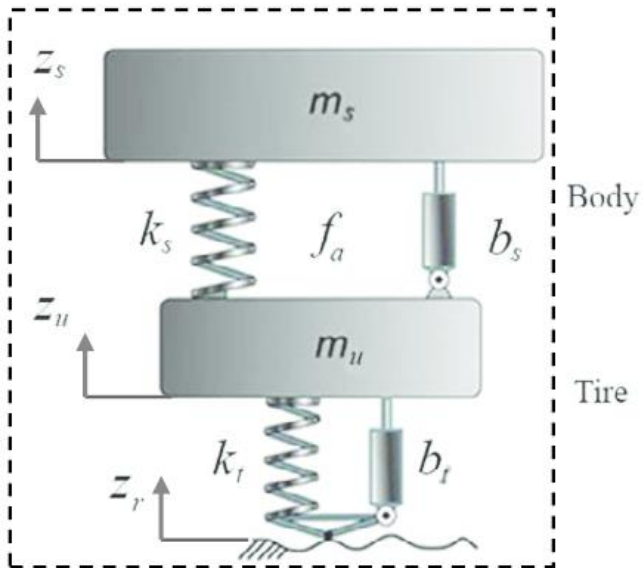


# ОСЦИЛАТОРНИ МОДЕЛ ВОЗИЛА

МОДЕЛ ВОЗИЛА СА НЕЗАВИСНИМ СИСТЕМОМ ЕЛАСТИЧНОГ ОСЛАЊАЊА



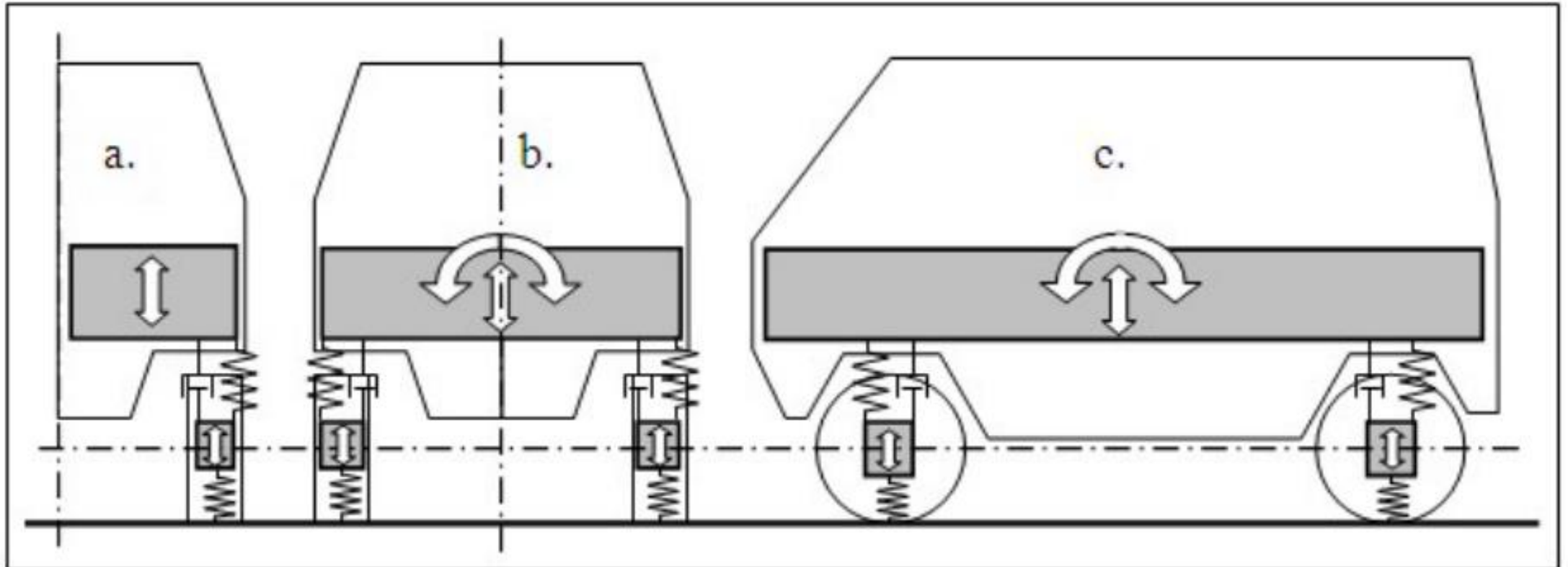
# ОСЦИЛАТОРНИ МОДЕЛ ВОЗИЛА



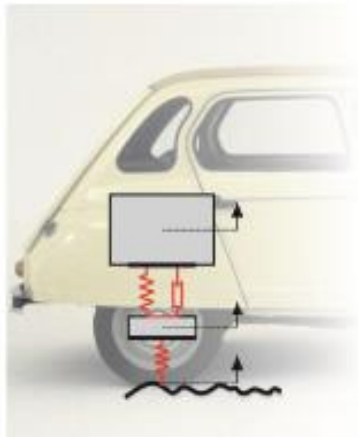
# ОСЦИЛАТОРНИ МОДЕЛ ВОЗИЛА

За проучавање осцилаторног понашања возила користе се поједностављени модели који представљају упрошћену и идеализовану, али ипак довољно тачну замену за сложени систем.

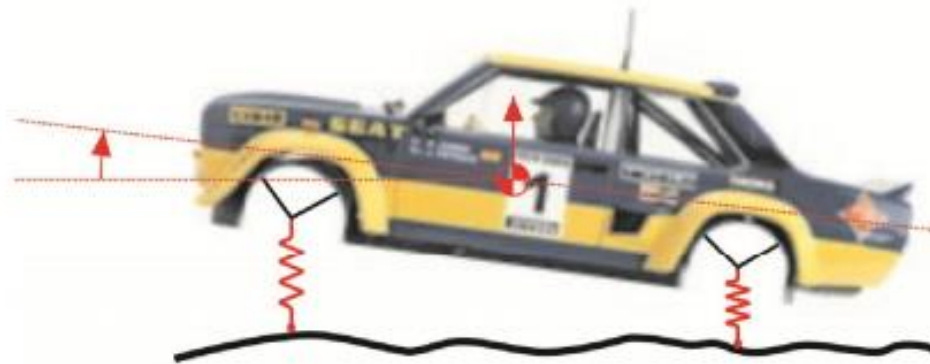
(нпр. четвртински (a), половински (попречни (b) или подужни (c))).



# ОСЦИЛАТОРНИ МОДЕЛ ВОЗИЛА



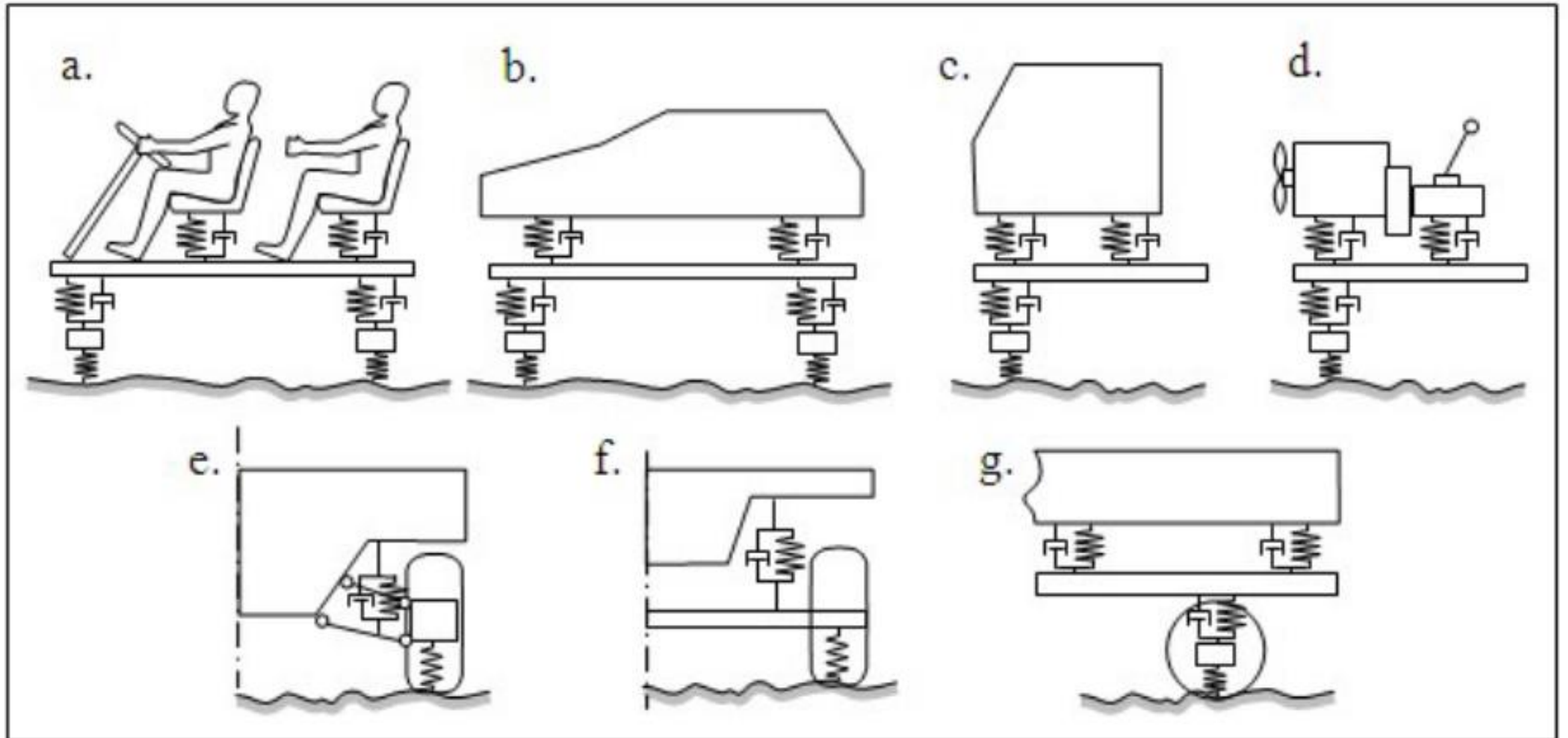
Четвртински модел  
(линијски модел)



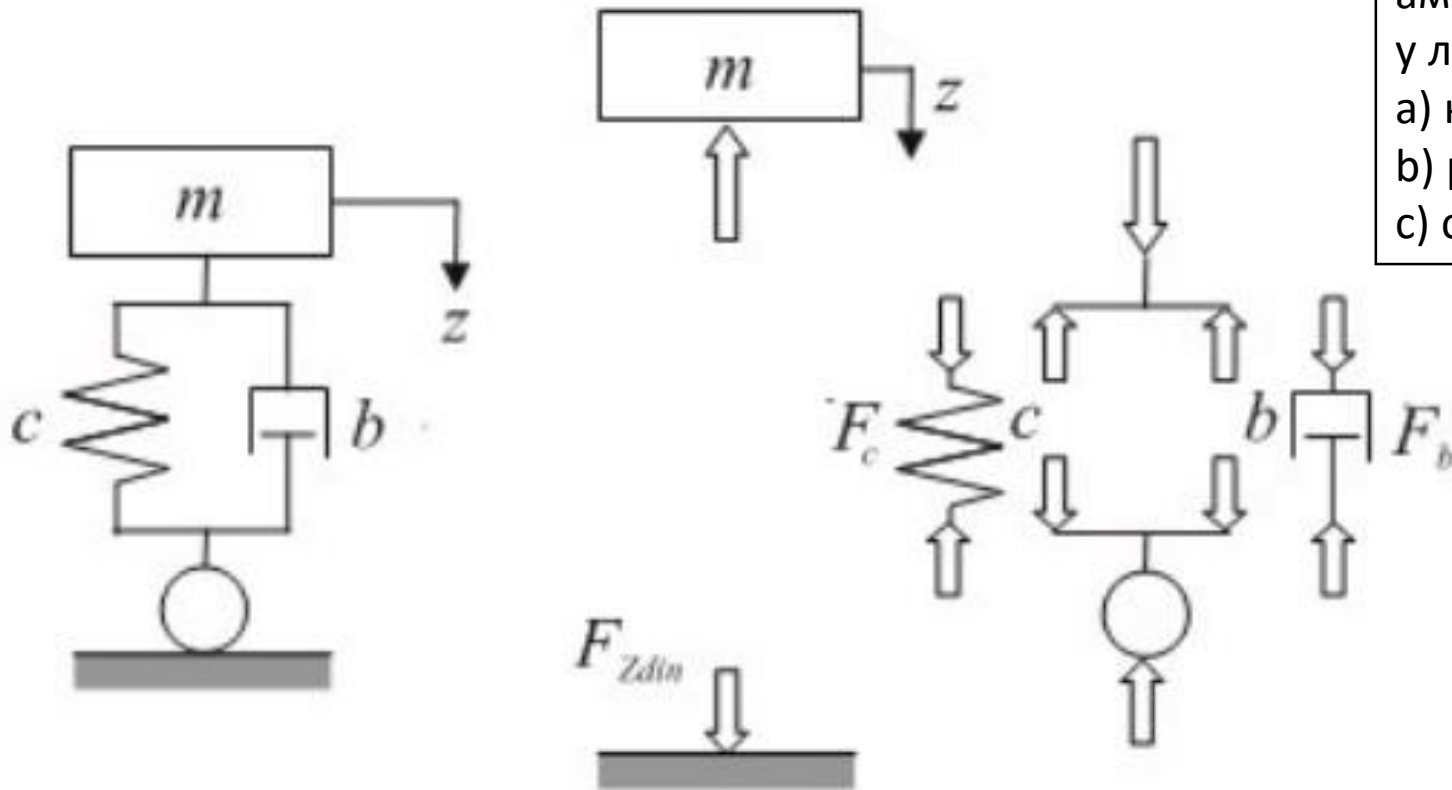
Равански модел



# ЈОШ ПРИМЕРА ОСЦИЛУЈУЋИХ МОДЕЛА

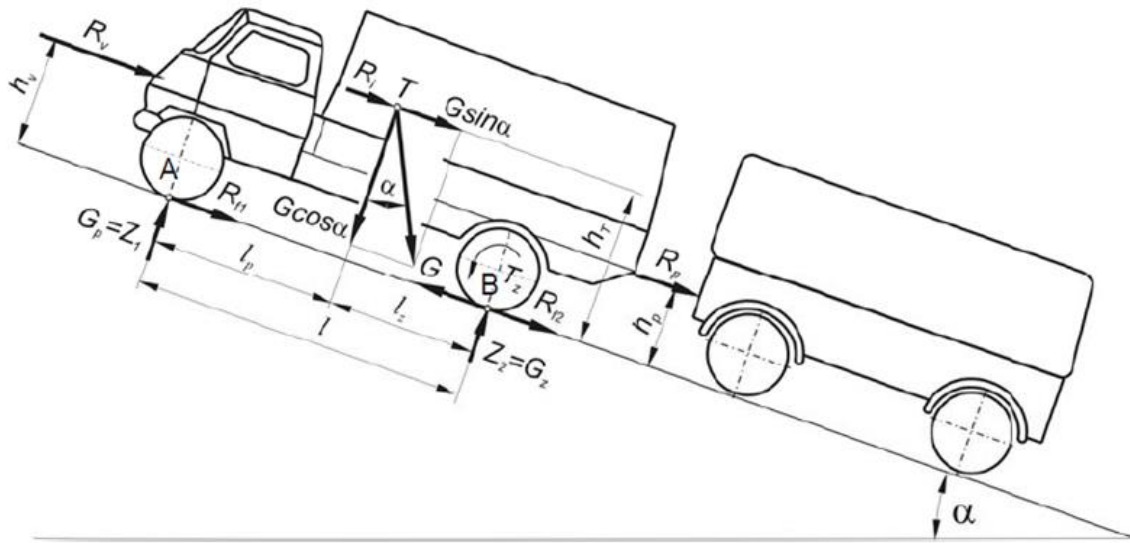


# Карактеристике осцилујућих модела возила -модел са једном осцилујућом масом-

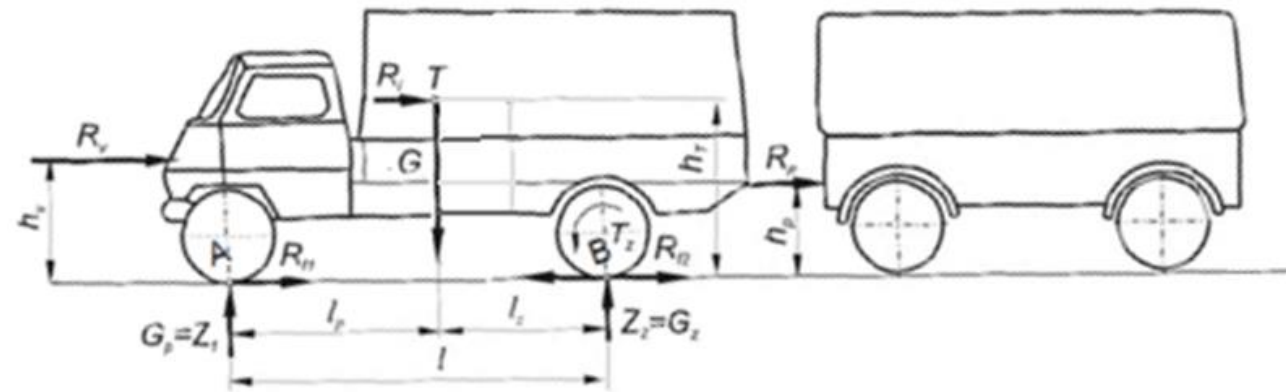


Модел масе -  $m$  са опругом крутости -  $c$  и амортизером коефицијента пригушења -  $b$  (у литератури се може наћи и ознака  $k$ ):  
а) на равној и глаткој подлози  
б) растављен на компоненте  
в) сила у опрузи  $F_c$  и амортизеру  $F_b$

# Силе које делују на возило имају битан утицај на стабилност кретања возила



Возило на успону

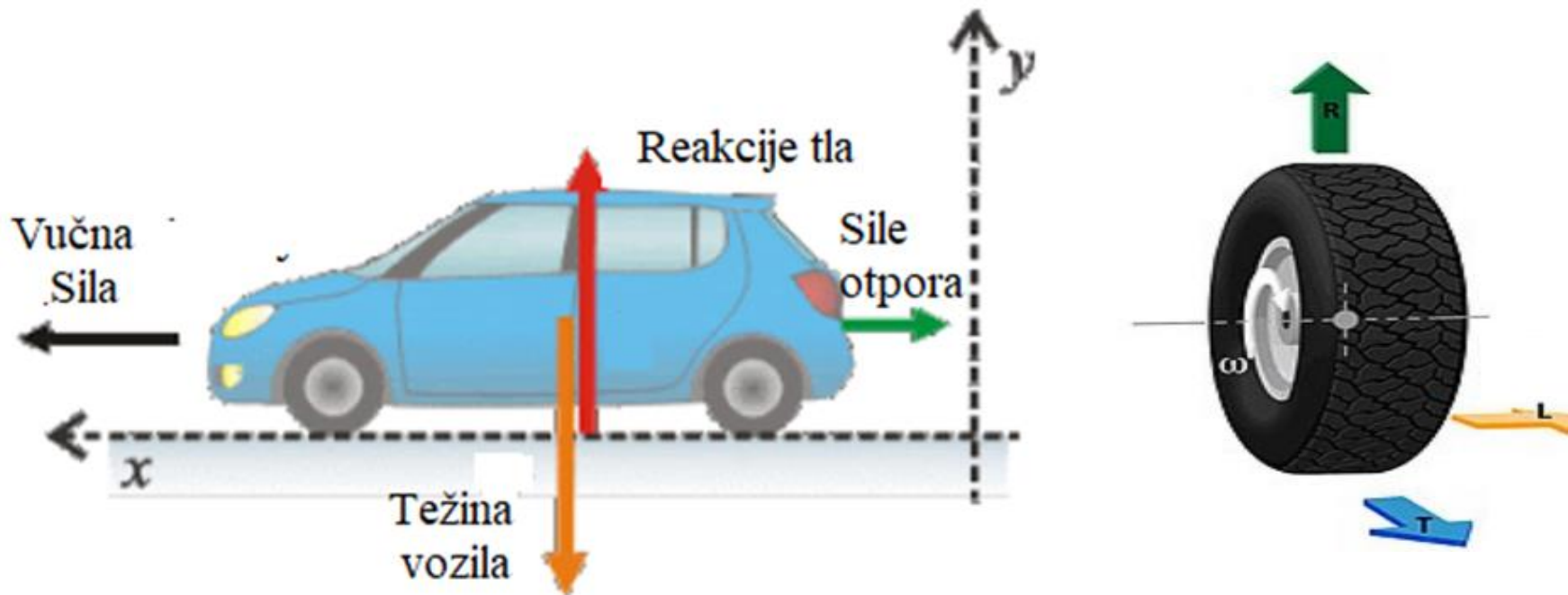


Возило на  
горизонталном путу

# СИЛЕ КОЈЕ ДЕЛУЈУ НА ВОЗИЛО

Силе које делују на возило у току његовог кретање се могу поделити на две основне врста:

На унутрашње силе и спољашње силе. Унутрашње силе представљају силе које супротстављају померању или окретању одређених елемената унутар мотора или унутар система за пренос снаге. Наведене силе су силе инерције или силе трења. Спољашње силе представљају силе које се директно супротстављају кретању возила. На слици су приказане основне силе које делују на возило приликом кретања, као и смер њиховог деловања. Као што је уочљиво на возило делују различите силе које свакако утичу на његово кретање а које је потребно да возило савладада би се могло кретати. Подужне силе (означено плавом бојом,  $T$ ), бочне силе (означено жутом бојом,  $L$ ) и нормалне реакције (означено зеленом бојом,  $R$ ).



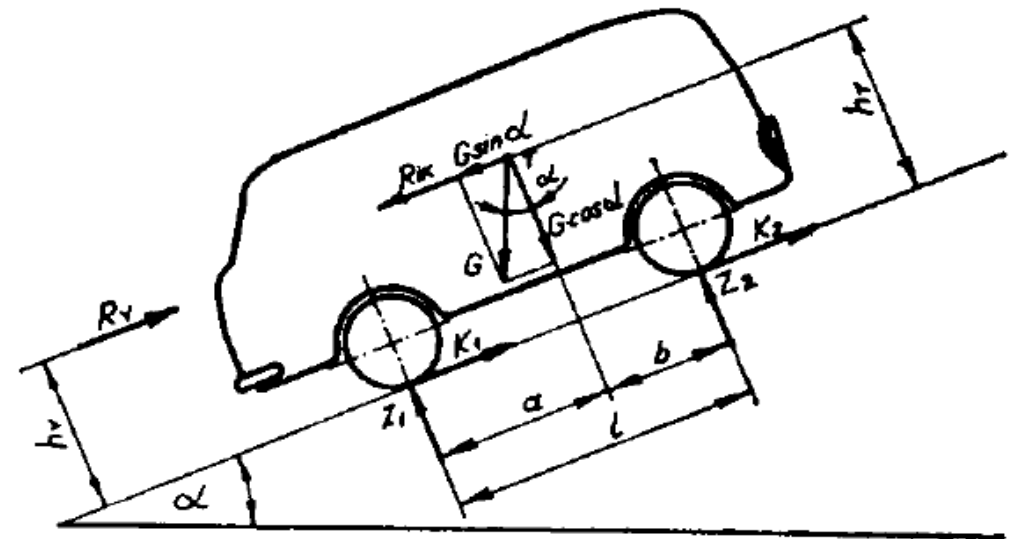
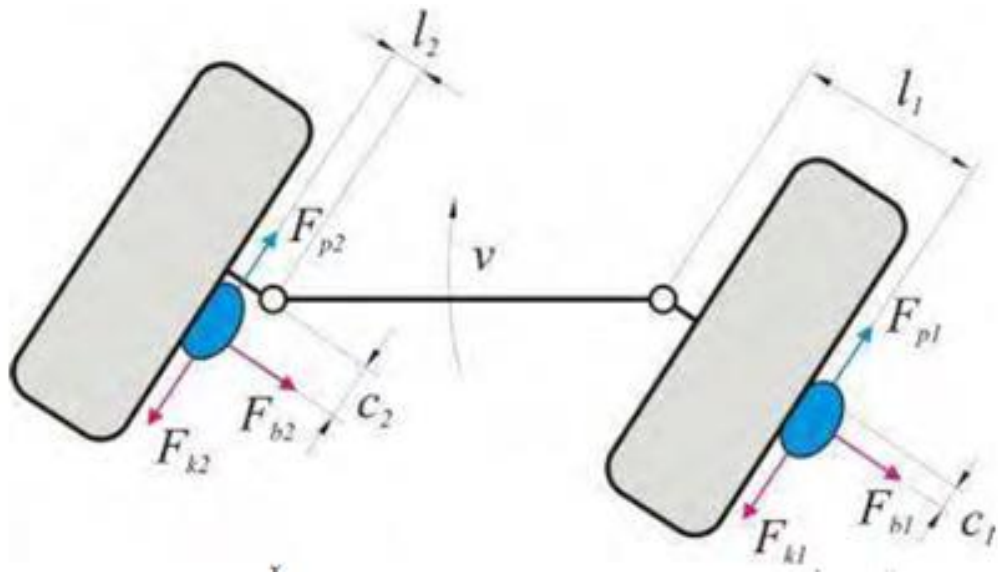
# Силе које делују на возило приликом поласка из места

Силе отпора при кретању возила из стања мировања (покретање возила из места) зависе од стања коловоза, пнеуматика и масе возила, а потичу од пластичних и еластичних деформација подлоге, еластичних деформација точкова и инерцијалних сила - силе отпора убрзању.

Силе и моменти отпора покретању возила из места су посебно важни код прорачуна спојнице, поготову код теретних и вучних возила.

# Силе које делују на возило приликом кочења

У пракси је примећено да се кочењем управљајућих точкова способност возила да задржи правац кретања знатно мења, односно управљивост возила се битно погоршава. Проласком возила кроз кривину, на исто почиње да делује центрифугална сила, која утиче да се пнеуматици точкова еластично деформишу, остављајући “отисак” изван подужне равни точка. У површинама додира са коловозом, деловаће бочне силе на десном точку и левом точку. Ове силе у односу на осовиницу рукавца образују кочење, а приказ је дат на слици испод. Краци  $c_1$  и  $c_2$  увек обезбеђују добијање позитивног момента стабилизације, с обзиром да момент кога стварају бочне силе са овим крацима, увек теже да врате точкове на правац. Кочењем возила у кривини, поред наведених бочних сила, јављају се и силе кочења на управљајућим точковима  $F_{k1}$  и  $F_{k2}$ , које такође стварају моменте. При неким односима углова стабилизације точкова (угао затура осовинице), угла скретања и сила кочења, негативни момент може да буде једнак или чак већи од позитивног, те је тенденција таквог момента да скрене точкове у страну. Другим речима, момент постаје такав да погоршава стабилизацију точкова, те је потребно управљачем кориговати путању (жаргонским речником речено - потребно је „одузети управљач“). У случајевима да су погонски точкови управљиви и код возила са предњом вучом, момент стабилизације је увек позитиван и момент погонских сила увек враћа точкове на правац (у жаргону – потребно је „додати управљач“).



# Силе које делују на возило приликом кочења

За претходни случај равнотежа свих сила се може приказати једначином, где је  $K$  кочна сила на точковима.

$$K + R_f = R_{iz} - R_v \pm G \sin \alpha$$

Како је у претходном изразу са  $K$  означена кочна сила, за кочење свих точкова возила важи следећи израз, у коме су  $K_1$  сила кочења точкова предње осовине док  $K_2$  представља силу кочења на задњим точковима.

$$K = K_1 + K_2$$

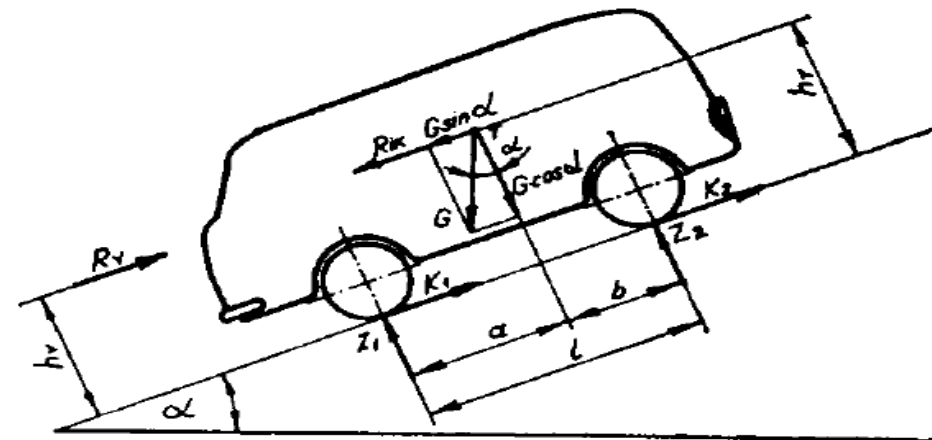
Уколико се посматрају граничне кочне силе уз максимално искоришћење коефицијента пријањања ( $\varphi$ ) важи случај да је максимална кочна сила на предњим точковима једнака производу динамичких реакција на предњим точковима и коефицијента пријањања, што је представљено изразом лево док за задње точкове важи релација десно.

$$K = Z_1 \cdot \varphi$$

$$K = Z_2 \cdot \varphi$$

За кочење на свим точковима:

$$K = G \cos \alpha \cdot \varphi$$

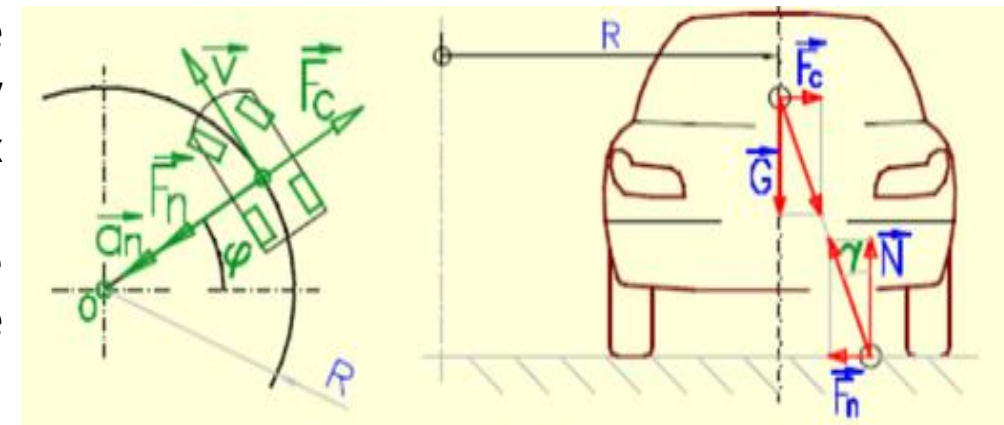


# Силе које делују на возило приликом кретања у кривини

Приликом кретања возила у кривини на возило делује центрифугална сила која тежи да возило избаци из кривне односно да преврне возило.

Ова сила је јако критична приликом кретања возила у кривини, односно може нарушити тзв. попречну стабилност возила. Ова сила зависи од брзине кретања возила и од радијуса кривине. Све што је брзина кретања возила већа то је већа и центрифугална сила. Уколико је радијус кривине мањи, центрифугална сила је већа. Код возила, код којих је тачка тежишта на већој висини, лакше се нарушва попречна стабилност возила, односно долази до лакшег превртања возила у односу на она возила, која које имају мању висину тежишта. Сила која се супротставља центрифугалној сили јесте центрипетална сила која тежи да задржи возило на путу односно да задржи возило у стабилном кретању.

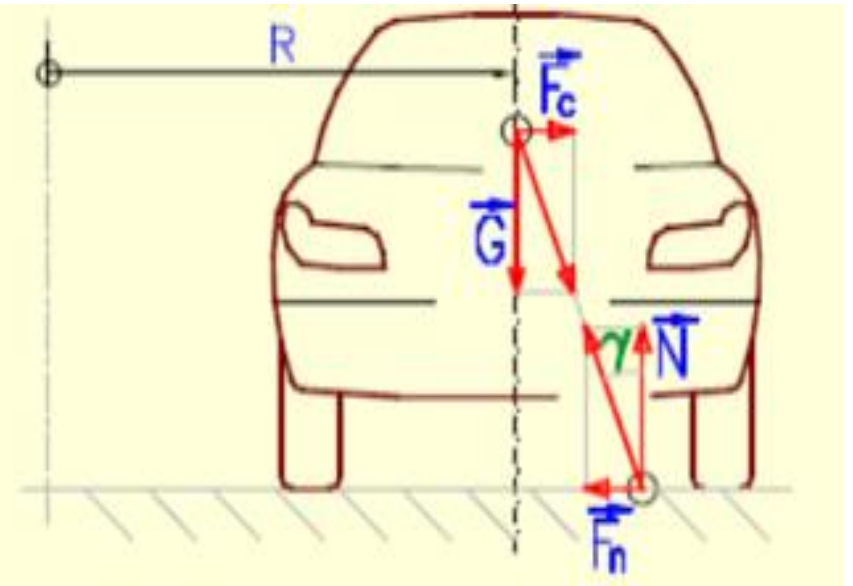
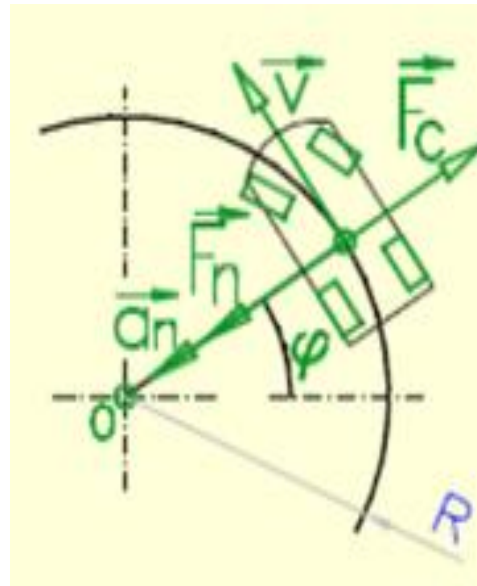
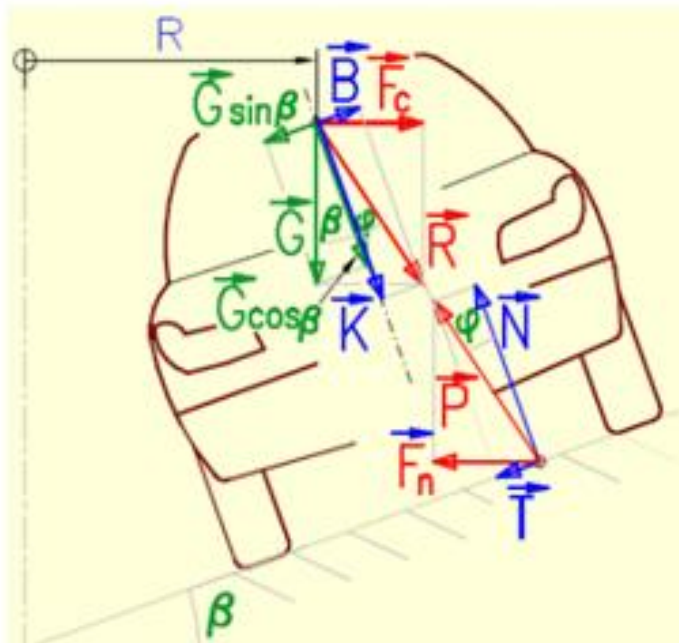
Попречни нагиб на путевима од 2.5%, а који служи за одвођење воде, не смањује попречну стабилност и не утиче на безбедност. При кретању возила кроз кривину на возило делује више сила. Осим повећаних попречних нагиба у кривинама, на возило у кривини делује компонента силе названа центрифугална сила која зависи о брзине возила, његове маси и радијуса кривине. На слици је приказано дејство центрифугалне силе која настоји избацити возило из кривине.

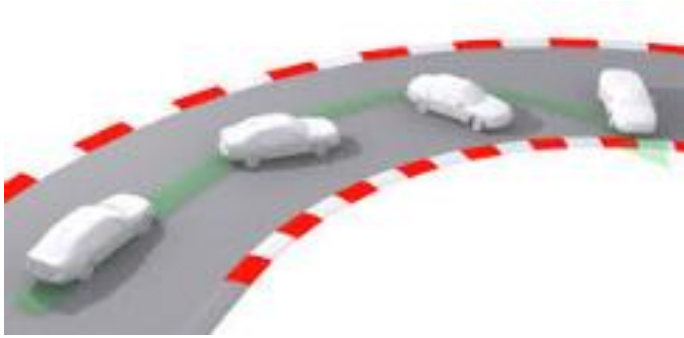




# Силе које делују на возило приликом кретања у кривини

Попречни нагиб у кривини максималне вредности до 7%, служи да смањи утицај центрифугалне силе, а повећа вредност центрипеталне силе која вуче возило према средишту кривине. У идеалном случају равнотеже, тежина возила и центрифугална сила могу се поништити и на тај начин резултанта постаје окомита на пут што омогућује пролазак возила кроз кривину без силе трења. Идеални услови се не могу постићи на путевима те трење клизања пружа додатан отпор центрифугалној сили и омогућује равнотежу у односу сила.

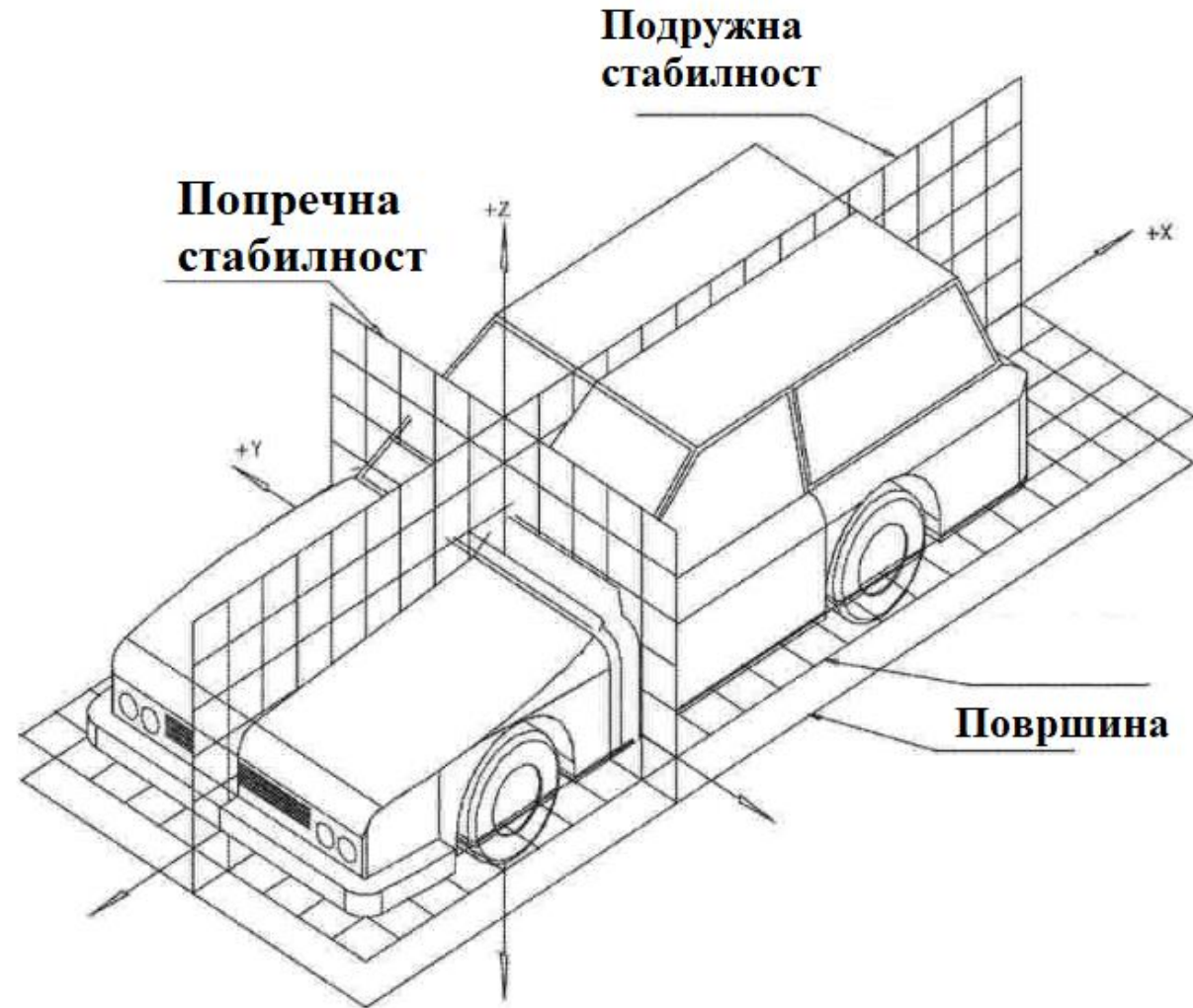




# СТАБИЛЬНОСТЬ ВОЗИЛА



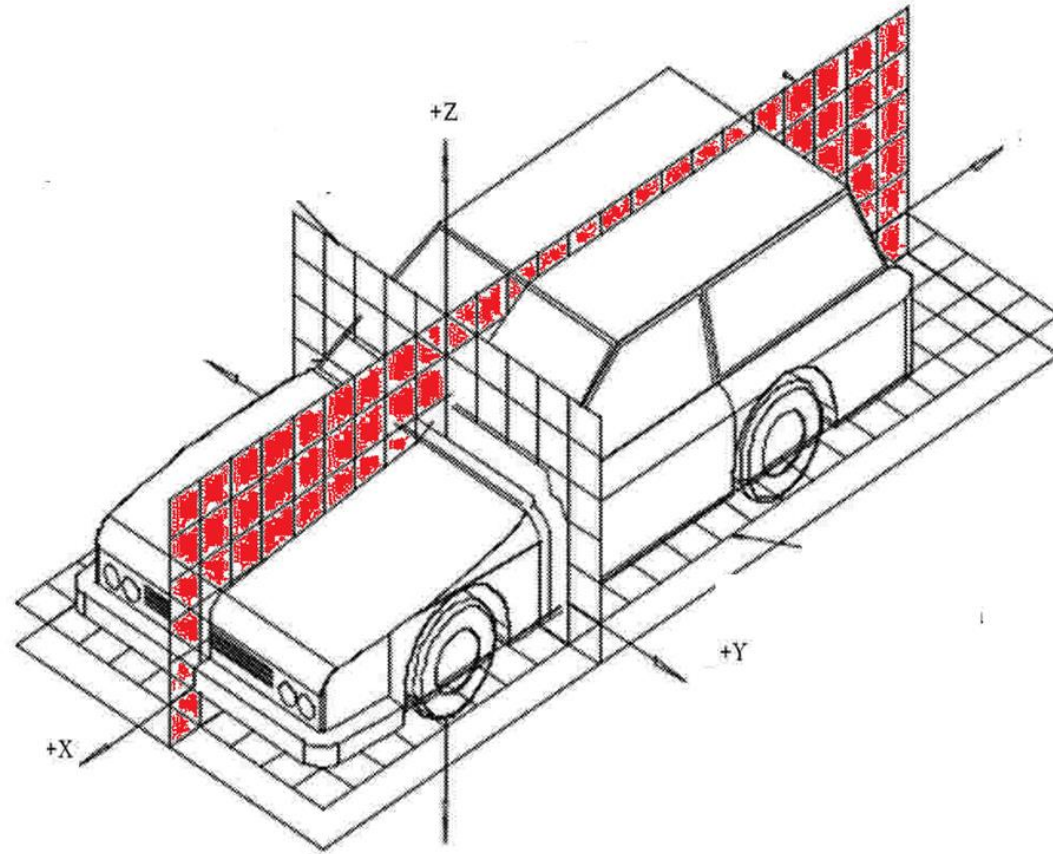
# КАКО МОЖЕМО ПОДЕЛИТИ СТАБИЛНОСТ ВОЗИЛА



# КАКО МОЖЕМО ПОДЕЛИТИ СТАБИЛНОСТ ВОЗИЛА

- Под стабилношћу возила, се подразумева његова способност да се креће задржавајући свој смер кретања без обзира на дејство спољашњих сила. У том смислу може да се говори о стабилности са аспекта:
  - превртања
  - проклизавања (попречна)
  - дејства центрифугалне силе при вожњи у кривини
  - под утицајем силе бочног ветра

# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ



**Под подужном стабилношћу подразумева се способност кретања возила без превртања око предње или задње осовине, али и без проклизавања и клизања на успону.**

# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -превртање око задње осовине-

Овакав случај превртања савремених друмских возила је више теоријског карактера, с обзиром да су услови, да не дође до превртања, скоро увек задовољени, што ће се касније видети.

Теоријски гледано, превртање око задње осовине ће наступити када се испуни услов, да се предња осовина потпуно растерети, односно да је

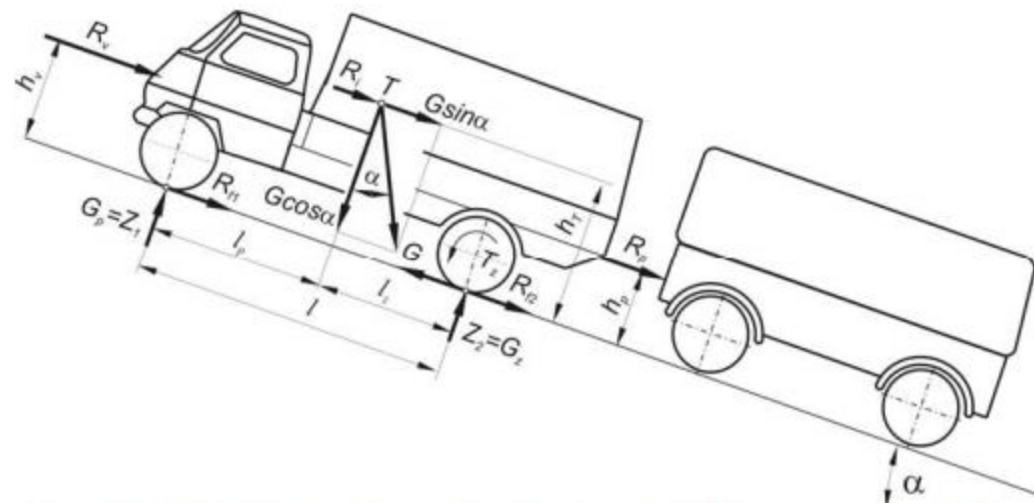
$$Z_1 \leq 0$$

Из једначине равнотеже сила за тачку ослоња задње осовине је:

$$Z_1 \cdot l - G \cdot l_z \cdot \cos \alpha + G \cdot h_T \cdot \sin \alpha + R_i \cdot h_T + R_v \cdot h_v + R_p \cdot h_p = 0$$

односно, да би се возило преврнуло око задње осовине

$$G \cdot l_z \cdot \cos \alpha + G \cdot h_T \cdot \sin \alpha + R_i \cdot h_T + R_v \cdot h_v + R_p \cdot h_p \leq 0$$



# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -превртање око задње осовине-

Коначно за случај кретања возила са приколицом:

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \frac{l_z}{h_T + h_p \frac{G_p}{G}}$$

Односно за „соло“ возило, без приколице:

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \frac{l_z}{h_T} \quad \text{односно} \quad h_T \geq \frac{l_z}{\operatorname{tg} \alpha}$$

С обзиром да је  $\operatorname{tg} \alpha$  чак и за успоне од 100% ( $\alpha = 45$  степени) једнако 1, превртање око задње осовине би наступило за случај да висина тежишта буде виша или бар једнака растојању тежишта до задње осовине, што је код возила практично немогуће.

# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -превртање око задње осовине-

За случај да до превртања око задње осовине не дође, потезница на вучно возило увек треба да буде на нижем растојању од тла од висине тежишта

$$h_p \leq h_T$$



# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -Савладава ње максималног успона са аспекта проклизавања возила-

Кретањем возила на успону, а у случајевима смањеног коефицијента приањања између точкова и коловоза, може да наступи проклизавања. У наведеном случају максимална вучна сила на погонским точковима, треба да буде већа од адхезионе силе између погонских точкова и тла, али не и од силе отпора успона. У таквим случајевима долази до обртања погонских точкова у месту, али не и до клизања возила уназад.

Међутим случај чистог клизања на узбрдици наступа када је већа сила отпора успона од адхезионе силе на точковима.

Случајеви проклизавања точкова могу да се посматрају са аспекта распореда погонских точкова.

# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -Савлађивање максималног успона са аспекта проклизавања возила-

Погон возила на задњим точковима

Да би дошло до клизања возила низ успон треба да буде задовољен услов, да су отпори кретању већи од атхезионе силе, односно:

$$F_{02} \leq Z_2 \cdot \mu \leq (G + G_p) \cdot \sin \alpha$$

Коначним сређивањем једначине добијамо:

$$\mu \leq \frac{l_z (1+k)}{h_T (1+k)} \leq \frac{l_z}{h_T}$$

Другим речима, максимални успон је увек ограничен проклизавањем погонских точкова и не може да дође до превртања око задње осовине.

# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -Савлађивање максималног успона са аспекта проклизавања возила-

Погон возила на предњим точковима

На успону се смањује нормална реакција тла на предњим точковима, услед чега је и адхезиона сила увек мања, што значи да ће прво наступити проклизавање предњих (погонских) точкова. Другим речима и у овом случају максималан успон ограничен је проклизавањем точкова.

# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -Савлађивање максималног успона са аспекта проклизавања возила-

Погон возила на свим точковима

Слично претходним анализама, следи да ће проклизавање наступити када је адхезиона сила точкова и тла мања од сила отпора, односно када је

$$(G + G_d) \sin \alpha \geq G \cdot \mu \cdot \cos \alpha$$

Коначним сређивањем једначине добија се гранични успон од:

$$\operatorname{tg} \alpha_k \geq \frac{\mu}{1+k}$$

Проклизавање ће наступити пре превртања, када је

$$\frac{\mu}{1+k} \leq \frac{l_z}{h_T + k \cdot h_p}$$

За случај да је:

$$h_T \approx h_p$$

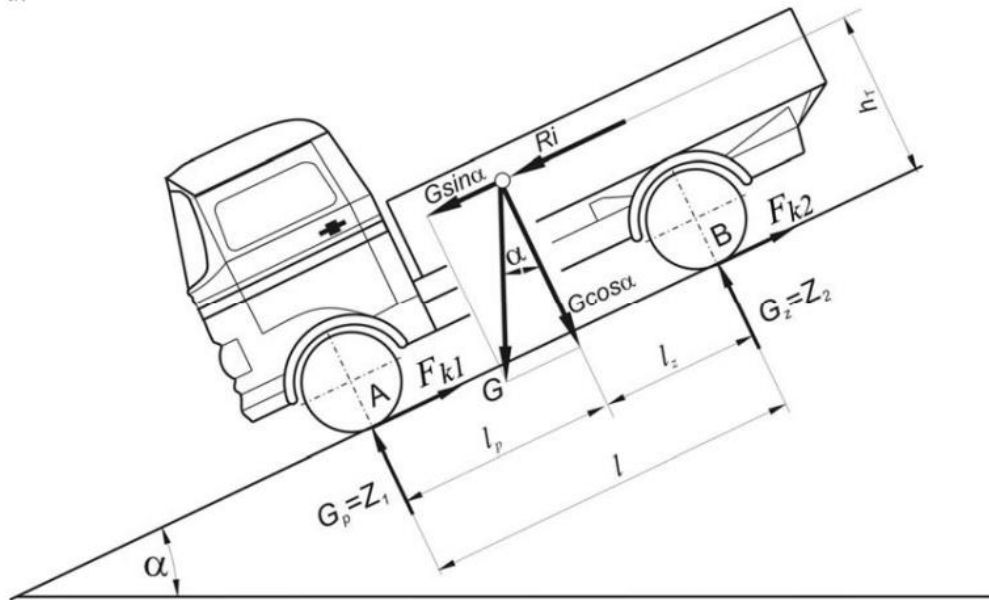
$$\mu \leq \frac{l_z}{h_T}$$

Следи коначан закључак да ће код “соло” возила и вучних возова, максимални успон увек да буде ограничен проклизавањем погонских точкова и никада не може да дође до превртања око задње осовине

# ПОДУЖНА СТАБИЛНОСТ

## -превртање око предње осовине-

Разматрање оваквог случаја нестабилности возила има смисла само када се возило креће низбрдицом и да је возач из неких разлога приморан да интензивно кочи. У таквим случајевима сила инерције, због промене смера, растерећује задњу осовину а оптерећује предњу.



Постављањем моментне једначине за тачку ослоња предње осовине А, следи:

$$Z_2 l + R_i \cdot h_T + G \cdot h_T \cdot \sin \alpha - G \cdot l_p \cdot \cos \alpha = 0$$

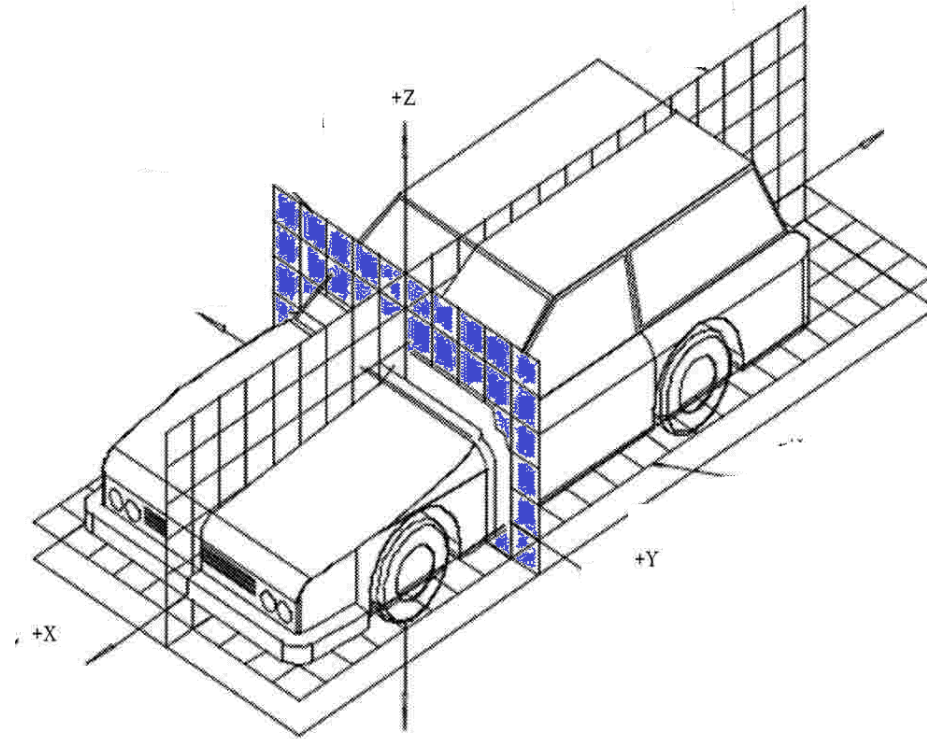
Услов за потпуно растерећење задње осовине, када може да дође до превртања око предње осовине наступа када је:

$$Z_2 l \leq G \cdot l_p \cdot \cos \alpha - R_i \cdot h_T - G \cdot h_T \cdot \sin \alpha \leq 0$$

односно максимални угао када долази до превртања

$$\cos \alpha_{\max} \leq \frac{h_T \cdot F_k}{G \cdot l_p} \leq \cos \alpha_p$$

# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ



У случају попречне (бочне) стабилности, може да се говори о превртању преко тачкова леве или десне стране или проклизавања у страну.

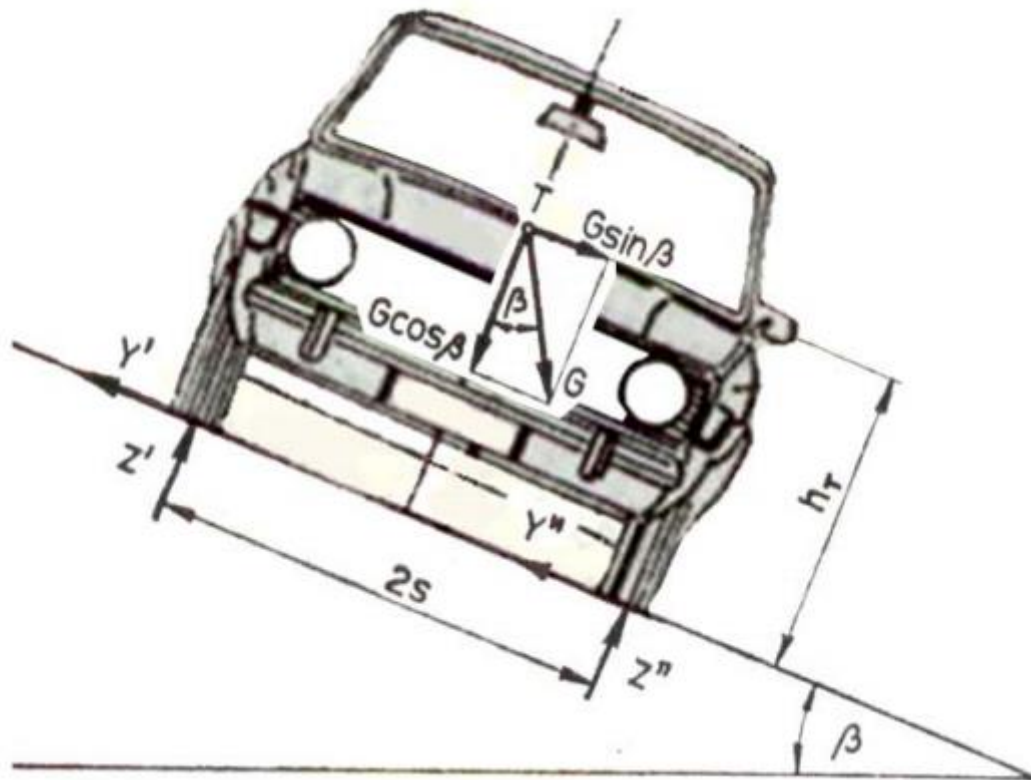
Када се говори о попречној стабилности возила, у суштини се ради о стабилности са аспекта кретања у два случаја:

- кретање возила на путу са попречним нагибом
- кретање возила на равном хоризонталном путу у кривини

# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Кретање возила на путу са попречним нагибом -

У наведеном случају, сила која изазива нестабилност возила са аспекта превртања или проклизавања на бочну страну, једнака је компоненти тежине  $G \cdot \sin \beta$



Превртање возила

Из услова равнотеже момената за десну страну возила према

$$Z' \cdot 2 \cdot s + G \cdot h_T \cdot \sin \beta - G \cdot s \cdot \cos \beta = 0$$

Коначно следи да превртање настаје када је:

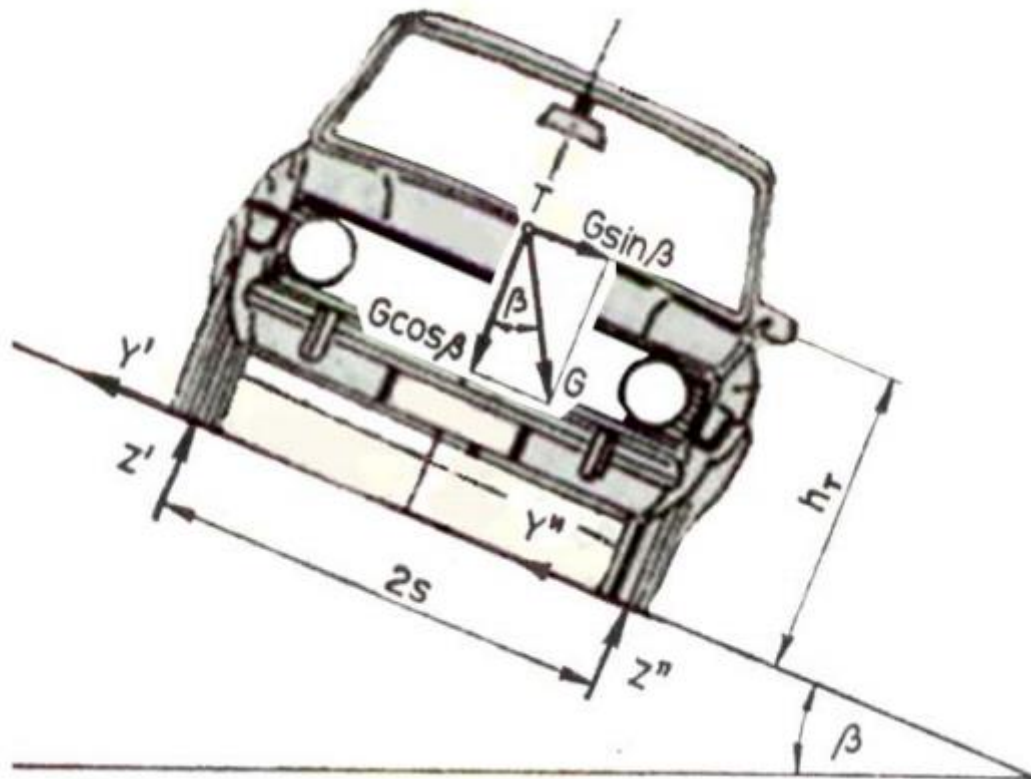
$$\operatorname{tg} \beta_p \geq \frac{s}{h_T}$$

Из наведене једначине следи да су стабилнија шира возила од оних код којих је „траг точкова“ мањи. Такође следи и чињеница, да превртање не наступа, ни под бочним нагибом од 45 степени ( $\operatorname{tg} \beta = 1$ ). Неопходно је да висина тежишта буде мања од половине „трага“ точкова.

# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Кретање возила на путу са попречним нагибом -

У наведеном случају, сила која изазива нестабилност возила са аспекта превртања или проклизавања низ страну, једнака је компоненти тежине  $G \cdot \sin \beta$



Клизање возила

Да би клизање могло да наступи, потребно је, да сила адхезије између тла и точкова буде мања од компоненте силе тежине  $G \cdot \sin \beta$ , односно када је

$$G \cdot \sin \beta \geq (Y' + Y'')_{\max} \quad \rightarrow \quad G \cdot \sin \beta \geq G \cdot \mu \cdot \cos \beta$$

Коначно:

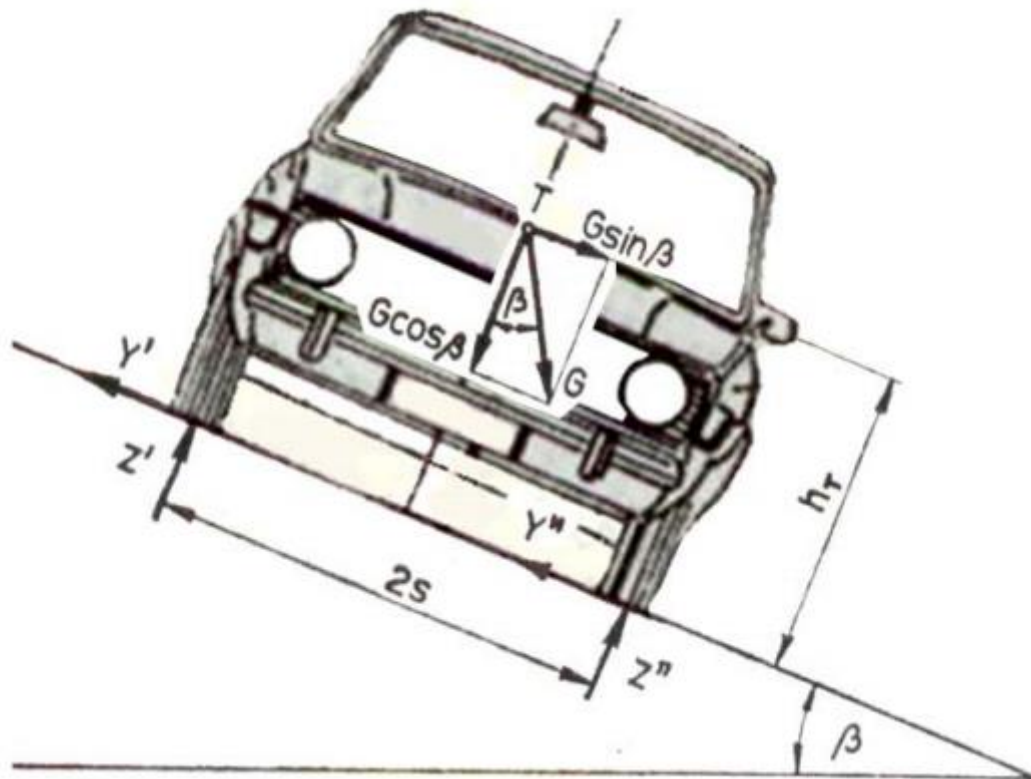
$$\operatorname{tg} \beta_k \geq \mu$$



# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Кретање возила на путу са попречним нагибом -

У наведеном случају, сила која изазива нестабилност возила са аспекта превртања или проклизавања низ страну, једнака је компоненти тежине  $G \cdot \sin\beta$



Проклизавање возила

Да би проклизавање наступило пре превртања, треба да буде задовољен услов:

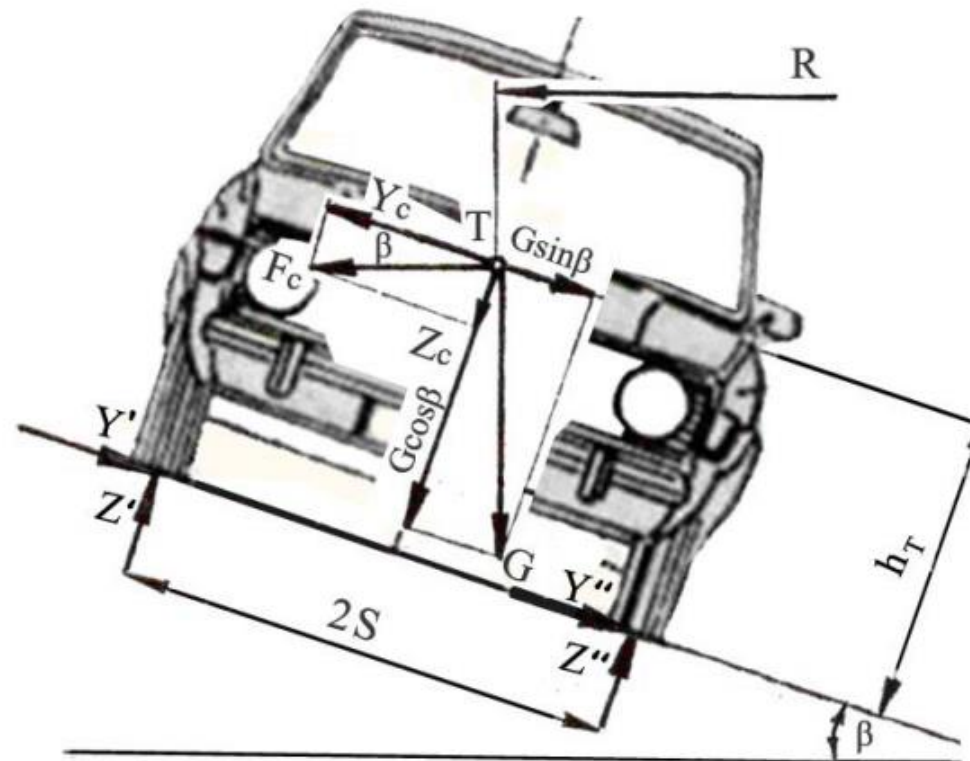
$$\operatorname{tg} \beta_p \leq \operatorname{tg} \beta_k \quad \text{Тј.} \quad \mu \leq \frac{s}{h_T}$$

Практична испитивања су показала да се погонски и гоњени точкови возила налазе у различитим условима. Код теретних возила увек је задња осовина погонска, осим код светочкаша, те стога она (погонска осовина) увек претходно пре проклиза од предње осовине. Наведено важи, јер погонски точкови већ користе један део адхезионе силе као тангенцијалне реакције тла. Остатак, који би се супротставио сили која вуче возило низ страну је знатно мањи.

# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Кретање возила на равном хоризонталном путу у кривини -

Приликом кретања возила на равном путу, у кривини, јављају се центрифугална сила „ $F_c$ “, која својом компонентом  $Y_c$ , са дејством из тежишта возила, има тенденцију да растерећује тачкове који су на унутрашњој страни кривине, односно за исту вредност оптерећују „спољне“ тачкове. И у овом случају може да се говори о нестабилности возила са аспекта превртања и са аспекта проклизавања у кривини.



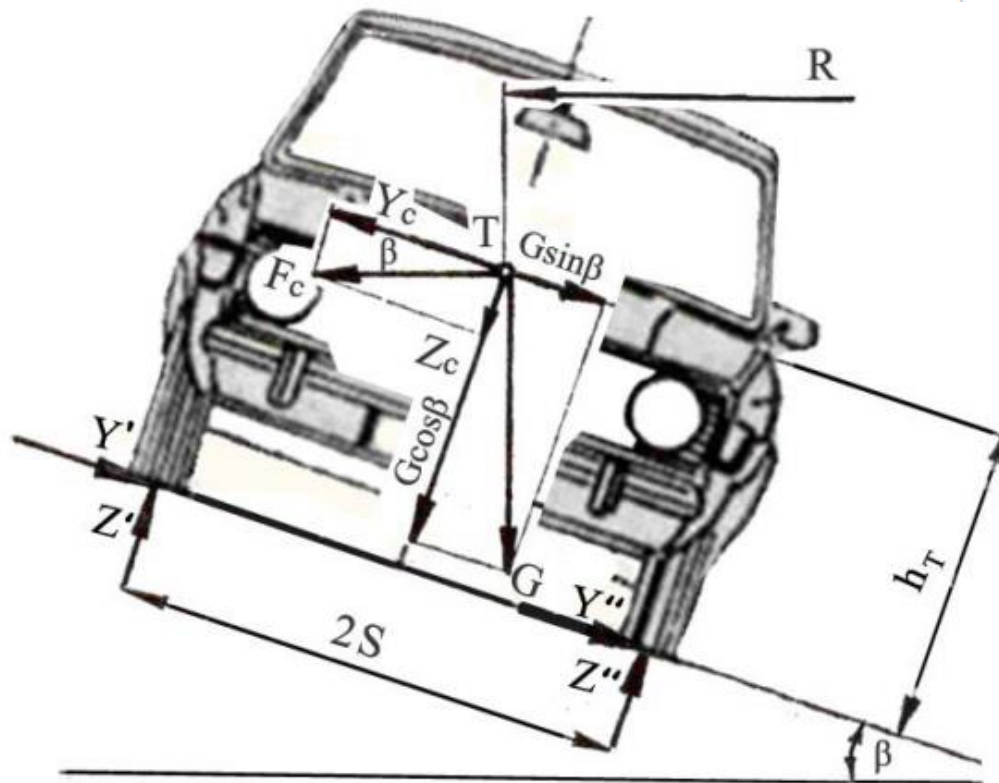
# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Кретање возила на равном хоризонталном путу у кривини -

Величина центрифугалне силе сразмерна је маси возила и квадрату брзине, а обрнуто пропорционална полупречнику кривине, дакле

$$F_c = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R}$$

Превртање возила



Из једначине момената за леве тачкове следи

$$Z'' \cdot 2 \cdot s - G \cdot h_T \cdot \sin \beta - F_c \cdot s \cdot \sin \beta + F_c \cdot h_T \cdot \cos \beta - G \cdot s \cdot \cos \beta = 0$$

За случај превртања потребно је да унутрашњи тачкови буду потпуно растеређени, то јест да је  $Z \leq 0$ , те уношењем вредности за центрифугалну силу једначина

$$g \cdot h_T \cdot \sin \beta + \frac{v^2}{R} s \cdot \sin \beta - \frac{v^2}{R} h_T \cdot \cos \beta + g \cdot s \cdot \cos \beta \leq 0$$

У коначном облику следи облик једначине за случај превртања возила код коловоза са нагибом је:

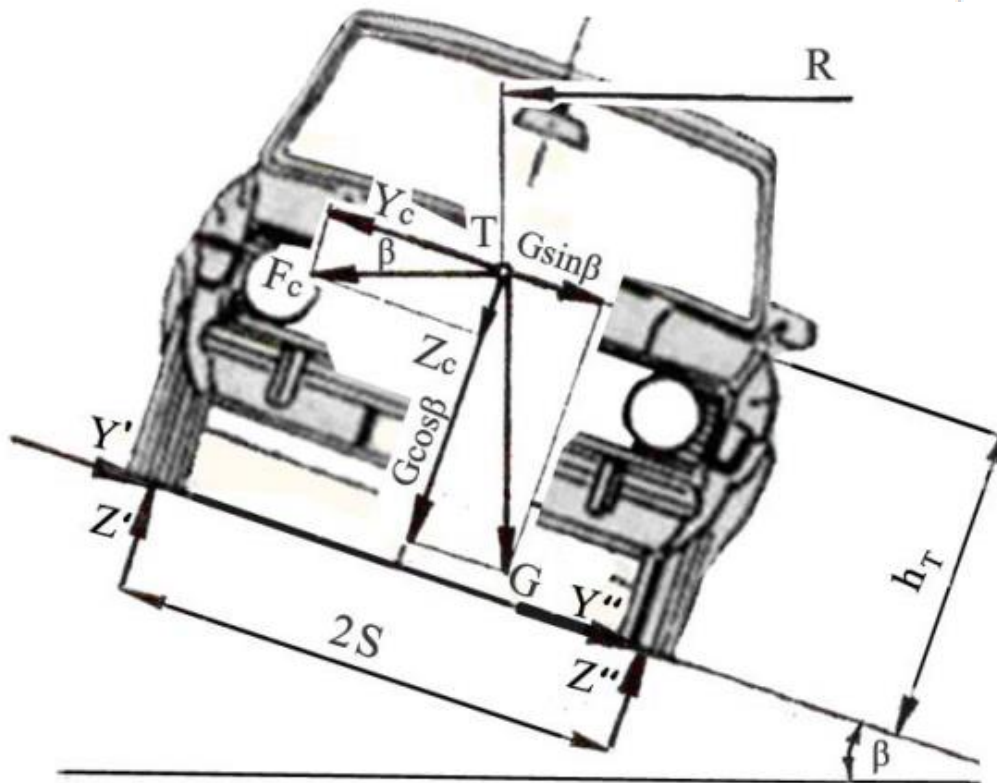
$$\frac{v^2}{R} \geq \frac{s + h_T \cdot \operatorname{tg} \beta}{h_T - s \cdot \operatorname{tg} \beta} g$$

# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Кретање возила на равном хоризонталном путу у кривини -

Величина центрифугалне силе сразмерна је маси возила и квадрату брзине, а обрнуто пропорционална полупречнику кривине, дакле

$$F_c = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R}$$



$$\frac{v^2}{R} \geq \frac{s + h_T \cdot \operatorname{tg} \beta}{h_T - s \cdot \operatorname{tg} \beta} g$$

Када је коловоз без нагиба ( $\beta = 0$ ), да не би дошло до превртања, потребно је да брзина буде мања од

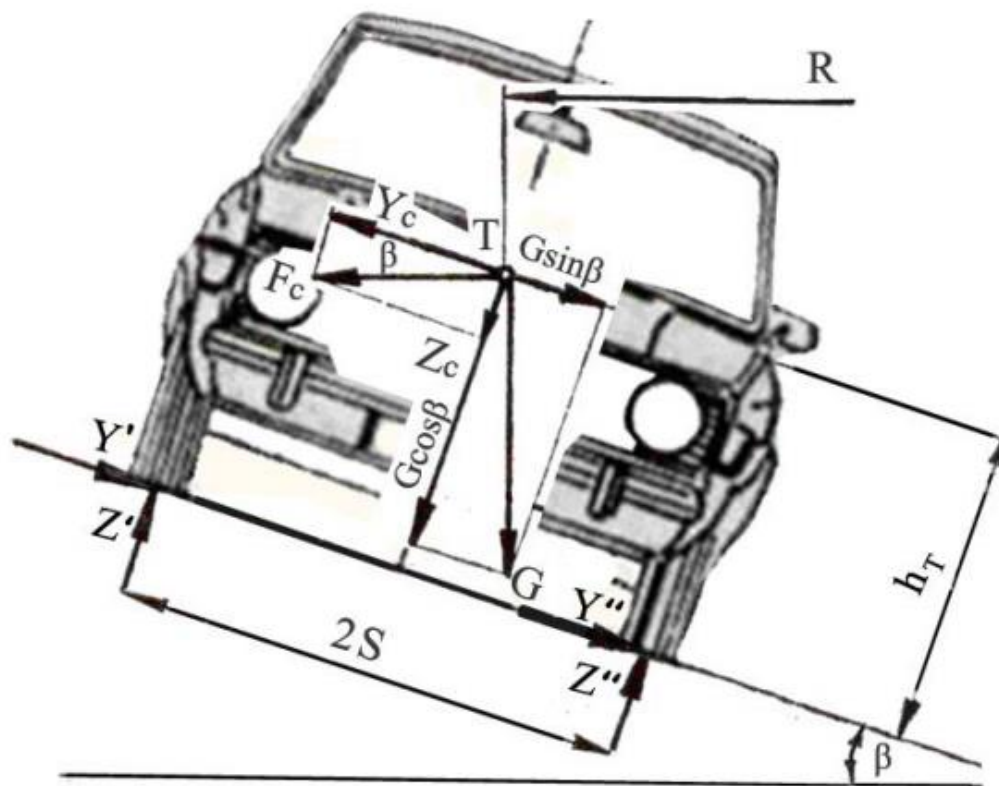
$$\frac{v^2}{R} \leq \frac{s \cdot g}{h_T} \quad \rightarrow \quad v_p \leq \sqrt{\frac{g \cdot s \cdot R}{h_T}}$$

# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Кретање возила на равном хоризонталном путу у кривини -

Из горње анализе јасно произилази и закључак да је проклизавање на равном хоризонталном коловозу критичнији случај од случаја када је коловоз са нагибом. Да би дошло до проклизавања точкова, потребно је да збир хоризонталних реакција тла

Проклизавање возила



$$Y' + Y'' = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R} \cos \beta - G \cdot \sin \beta$$

Другим речима, бочно проклизавање ће да наступи када је

$$\frac{v^2}{R} \geq \frac{g(\mu + \operatorname{tg} \beta)}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \beta} \quad \rightarrow \quad v_k \geq \sqrt{\frac{g \cdot R(\mu + \operatorname{tg} \beta)}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \beta}}$$

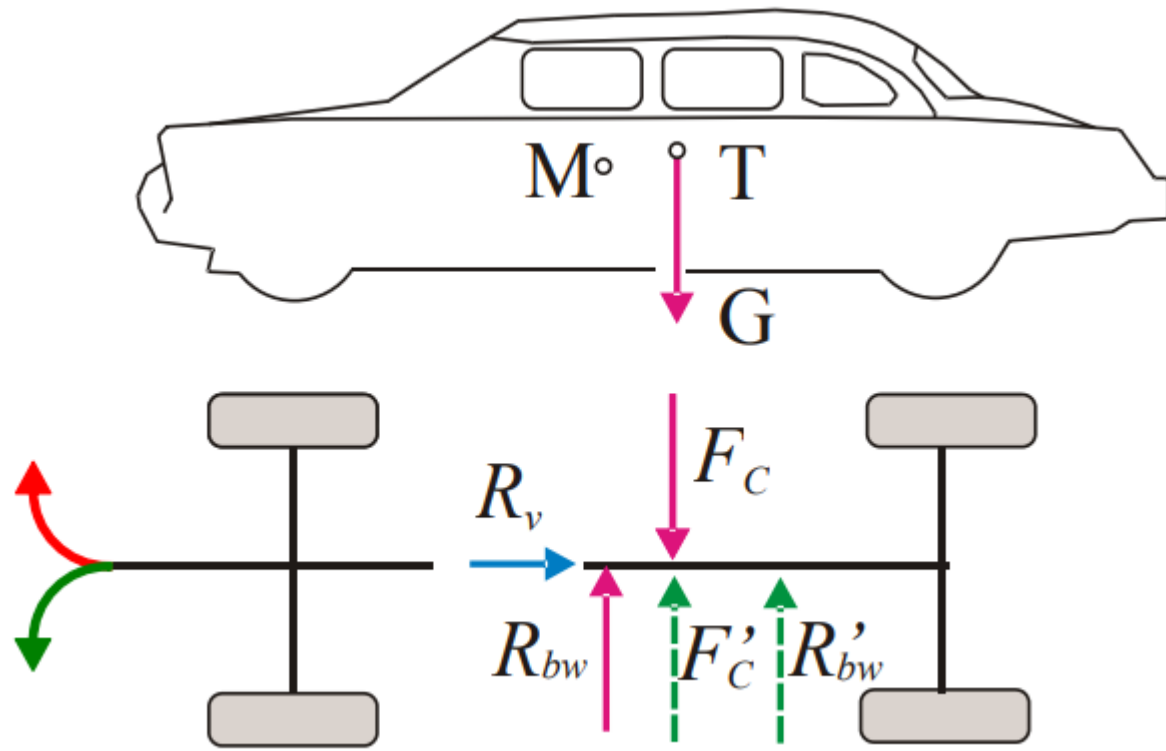
На хоризонталном путу ( $\beta = 0$ ), клизање настаје већ када је

$$v_k \geq \sqrt{\mu \cdot g \cdot R}$$

# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Стабилност возила на бочни ветар -

Чињеница је, да подужни облик возила и величина бочне површине има значајан утицај на способност возила да задржи правац кретања под утицајем бочног ветра  $R_{bw}$ . Већ је речено да силе ветра (чеоног -  $R_w$  и бочног -  $R_{bw}$ ) дејствују у метацентрима својих површина "М", чији се положај одређује искључиво на основу облика површине на коју ветар дејствује. Силе могу да делују изнад или испод тежишта "Т" (при чеоном ветру) или испред односно иза тежишта, при дејству бочног ветра.



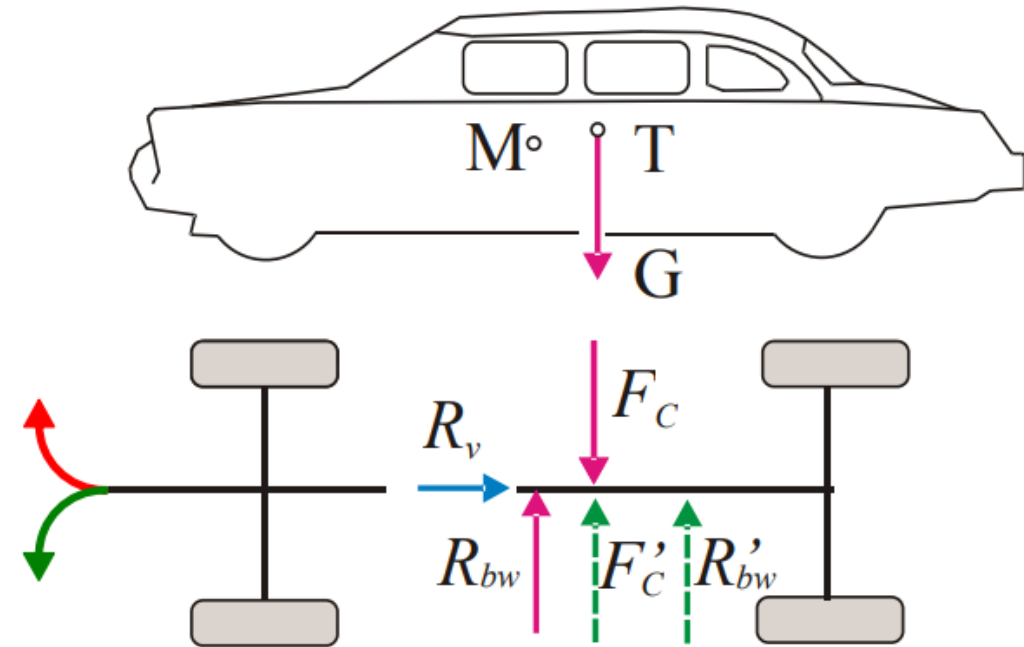
# ПОПРЕЧНА СТАБИЛНОСТ

## -Стабилност возила на бочни ветар -

Дејство бочне силе  $R_{bw}$  на возило условљава његово скретање са правца тако, да када је метацентар бочне површине испред тежишта возила (као на слици), исто почиње скретање у правцу дејства ветра. Ово скретање проузрокује центрифугалну силу  $F_c$ , која дејствује у тежишту возила и притом, са силом ветра, образује момент, који још више увећава тенденцију скретања са правца.

Насупрот напред реченом, када је метацентар бочне површине иза тежишта возила, дејством бочног ветра  $R_{bw}$ , возило почиње скретање супротно од смера дејства ветра. У овом случају центрифугална сила  $F_c$ , која је изазвана скретањем и сила бочног ветра  $R_{bw}$ , дејствују у истом смеру, стварајући збир сила, који сада тежи да смањи скретање возила са смера кретања.

Из наведеног следи и закључак, да мању тенденцију скретања са правца под дејством бочног ветра имају возила чија је бочна површина иза тежишта већа од површине испред, односно када је положај тежишта ближи предњој осовини него задњој. С тим у вези, возила типа “караван”, на пример “VW PASSAT караван”, “Škoda OKTAVIA караван” су стабилнија на дејство бочног ветра од одговарајућих њима сличних типова возила облика “лимузина”.



# ПОДУЖНА И БОЧНА ДИНАМИКА ВОЗИЛА

Можемо је поделити на неколико области, и то:

КОЧЕЊЕ МОТОРНИХ ВОЗИЛА

УПРАВЉАЊЕ, СТАБИЛНОСТ И УПРАВЉИВОСТ  
МОТОРНИХ ВОЗИЛА

ТЕОРИЈА УДАРА И СУДАРА  
ВОЗИЛА



# КОЧЕЊЕ МОТОРНИХ ВОЗИЛА

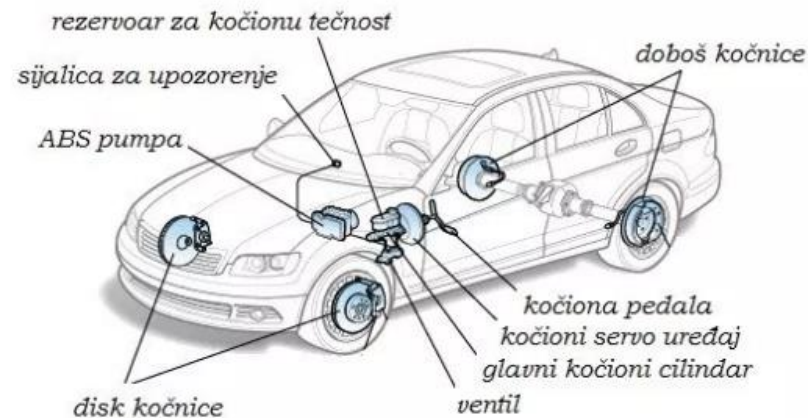


# Основе кочења моторних возила

- Функција кочног система је да на контролисан и стабилан начин омогући возилу задовољење следећих захтева:
  - Успорење у циљу смањења брзине или заустављања,
  - Трајно кочење ради савладавања непожељних убрзања на нагибу,
  - Спречавање непожељног кретања при паркирању.

Кочење је процес супротан процесу убрзавања возила, реализује се помоћу система за кочење а у њему активно учествују и други системи, пре свега пнеуматици и систем за ослањање.

На процес кочења утичу и различити динамички фактори као што су отпор ваздуха, отпор котрљања, отпор погонске групе (мотор и трансмисија) и отпор успона.



# Основе кочења моторних возила

Кочни систем у општем случају састоји се од команде, преносног механизма и извршних елемената (кочнице)

Сила кочења која се реализује на точковима возила може се посматрати двојачко:

- Као одазив кочног система на дејство команде,
- Као сила која се може остварити у контакту точка и подлоге.

Конструкцијски, сила може бити произвољно велика, али ту силу треба пренети на подлогу. Наведени проблем је веома битан за сва разматрања у динамици возила.

# Рад и снага кочења

Да би се возило успорило или зауставило потребно је да се енергија кретања потпуно „угуши“.

Наведено се остварује претварањем (кинетичке) енергије у топлоту и њеним расипањем у околину, или трансформацијом и акумулирањем енергије у неком другом облику (нпр. електрична – системи са рекуперацијом).

Енергија и снага које се апсорбује и расипа кочни систем приликом интензивног кочења могу бити веома значајне.

Апсорбована енергија представља збир примене потенцијалне и кинетичке енергије возила.

Апсорбована снага на хоризонталном путу зависи од брзине, будући да је једнака производу кочне силе и тренутне брзине возила. Расипање енергије је најзначајније на почетку кочења када је брзина **НАЈВЕЋА!**

# Рад и снага кочења

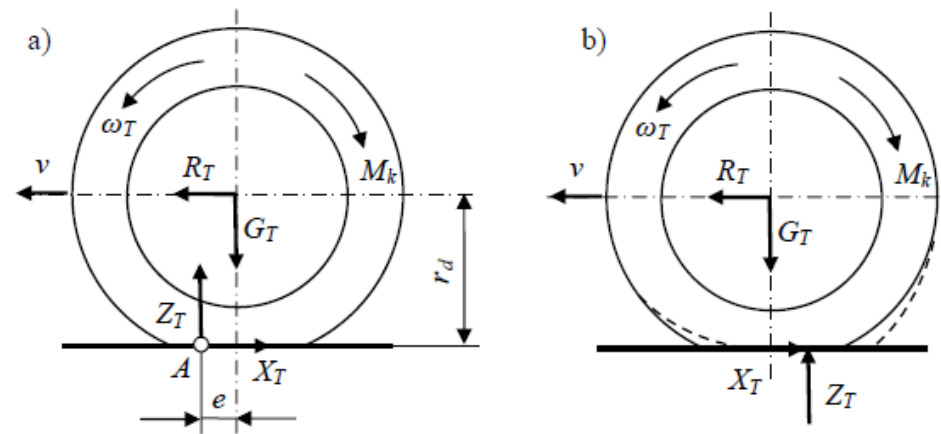
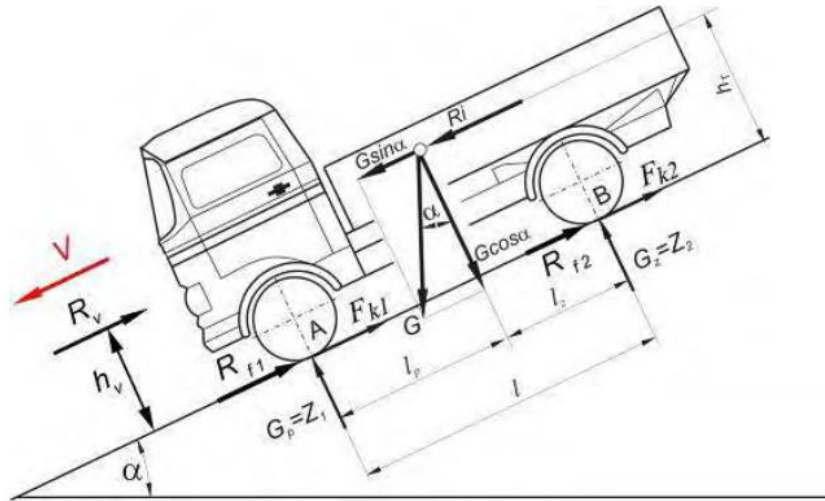
Снага кочења указује на изузетно високе захтеве који се постављају пред кочни систем.

Апсорбована механичка енергија трансформише се углавном у топлотну енергију загревајући кочнице, због чега кочнице морају имати одговарајући топлотни капацитет али и ефикасно хлађење. Посебно је овај проблем изражен код добош кочница.



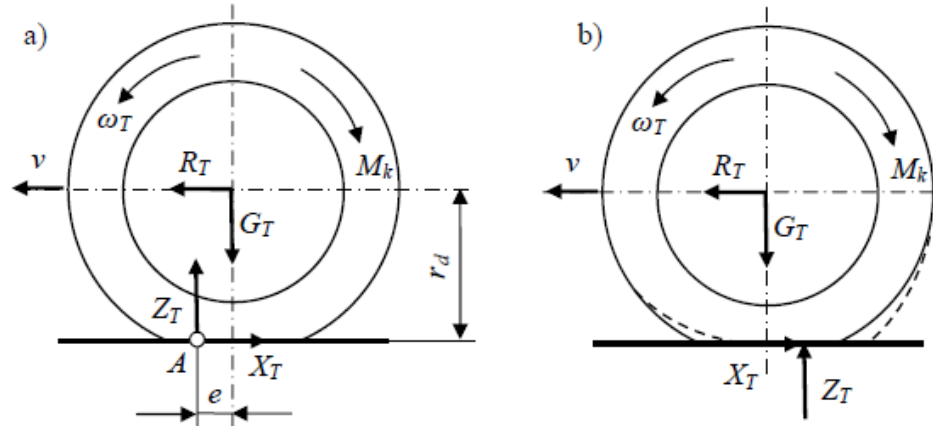
# КОЧЕНИ ТОЧАК

Кочнице су извршни органи чији је задатак да стварањем момента кочења ( $M_k$ ), КОЈИ ИМА СУПРОТАН СМЕР ОД СМЕРА ОБРТАЊА ТОЧКА.



КАО ПОСЛЕДИЦА МОМЕНТА КОЧЕЊА У КОНТАКТУ ПОДЛОГЕ И ПЕНУМАТИКА РЕАЛИЗУЈЕ СЕ СИЛА КОЧЕЊА – КОЧНА СИЛА! СМЕР ЈЕ УВЕК СУПРОТАН СМЕРУ КРЕТАЊА ВОЗИЛА!

# КОЧЕНИ ТОЧАК



**На точак делују моменти, вертикалне силе и силе у равни.**

У вертикалне силе спадају део тежине возила који оптерећује точак и вертикална реакција.

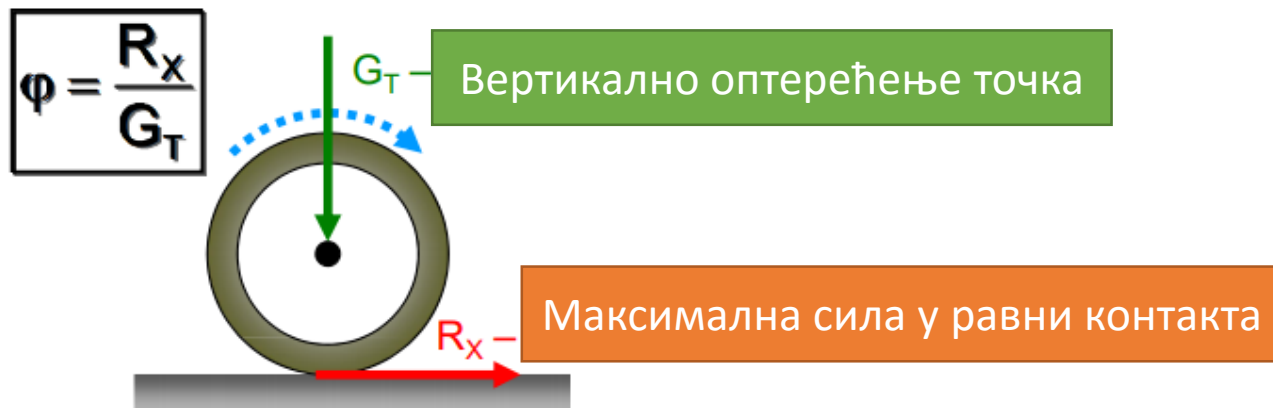
У равни контакта делују подужне силе (силе кочења и погонска сила) и бочне силе (припадајућа центрипетална сила и бочна реакција).

На точак поред свих сила и момената делује момент мотора и трансмисије, који може бити погонски или кочни, међутим у овом упрошћеном случају нећемо га узети у обзир претпостављајући да је приликом кочења мотор одвојен спојницом.

# Приањање и клизање

Силе у равни контакта точка и подлоге зависе пре свега зависе од вертикалне реакције на точку и приањања точка и подлоге.

Приањање пнеуматика се може дефинисати као однос између вертикалног оптерећења пнеуматика и максималне силе у равни контакта, а назива се коефицијент приањања.

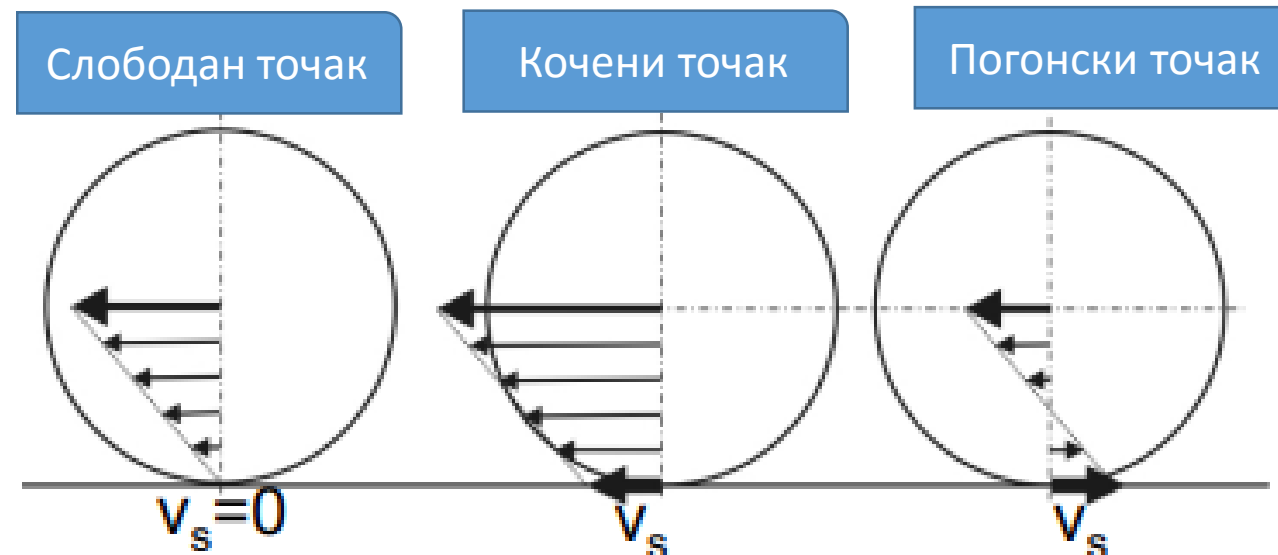


У току експлоатације возила коефицијент приањања може се мењати у широким границама, може бити и различит за тачкове на возилу.



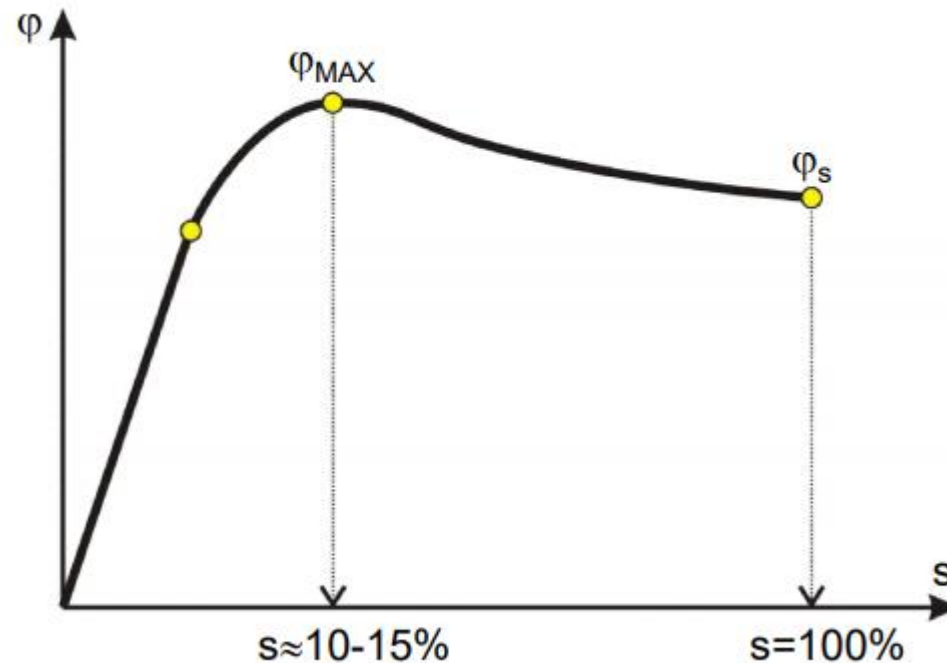
# Приањање и клизање

Под појмом клизање се подразумева да се транслаторна брзина разликује од теоријске брзине точка.



# Приањање и клизање

Зависност између тангенцијалних сила точка је линеарна. Са повећањем клизања у једном тренутку (у тачки максималног приањања) долази до максималног приањања односа између точка и подлоге, и повећање коефицијента приањања није могуће. Тада се точак налази на самој граници потпуног губитка стабилности. Са даљим повећањем тангенцијалних сила долази до клизања точка.



# СТАБИЛНОСТ ВОЗИЛА ПРИ КОЧЕЊУ

Услов стабилности кочења возила је да реализоване силе кочења буду мање од максимално могућих.

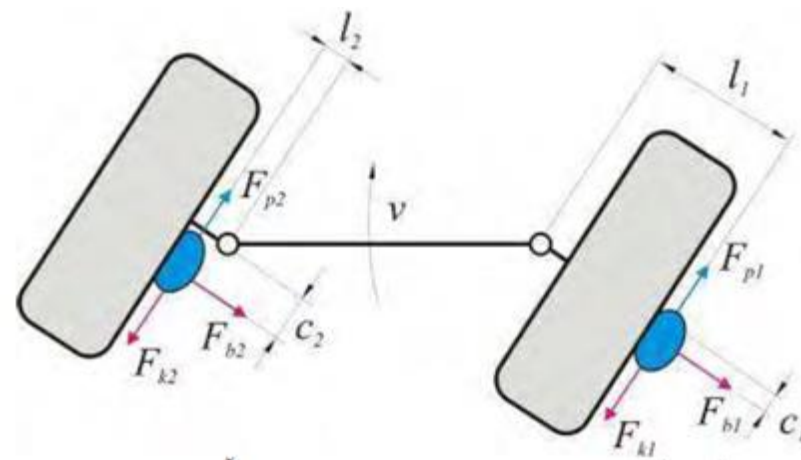
Стабилност се губи када се кочење одвија на или изнад границе приањања било то на једној осовини или више осовина. У наведеним ситуацијама точак клиза по подлози по којој се возило креће.

Возило не може да обезбеди довољну бочну реакцију која има за циљ да задржи возило у жељеној трајекторији.

Разлог је, што блокирани точкови не могу обезбедити бочне реакције које би се супротставиле било каквом спољном утицају.

Максимална могућа кочна сила (гранична вредност силе) на једном точку се може представити следећим изразом:

$$(X_k)_{\max} = \varphi \cdot Z_T$$



$(X_k)_{\max}$  – максимална могућа кочна сила на једном точку  
 $\varphi$ - коефицијент приањања  
 $Z_T$ - део тежине који оптерећује точак

# СТАБИЛНОСТ ВОЗИЛА ПРИ КОЧЕЊУ

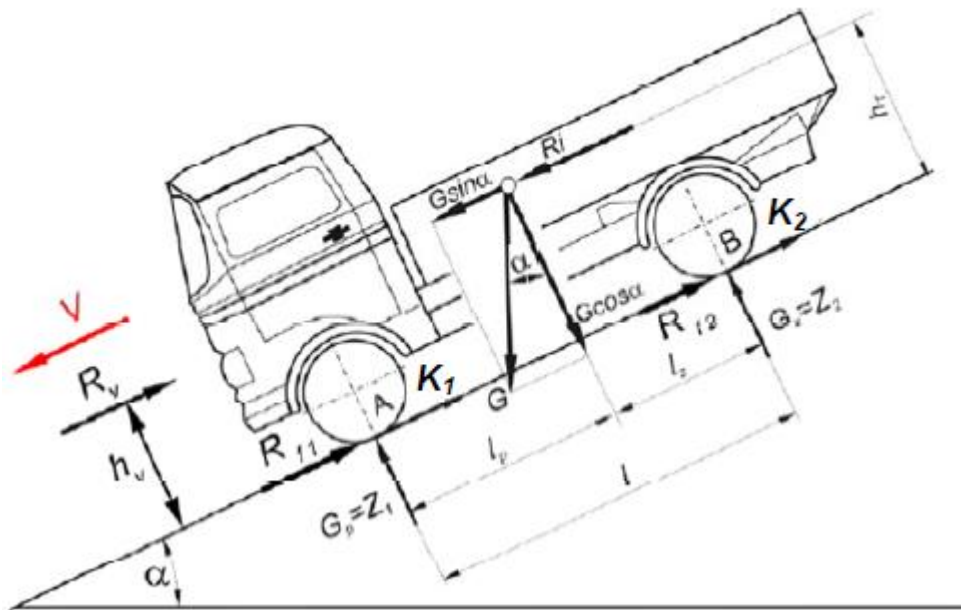
Да би се сачувала стабилност возила и да не би дошло до блокирања точкова на начин да кочна сила пређе вредност граничне силе кочења развијени су различити савремени системи на моторним возилима попут система против блокирања точкова (Anti Lock Braking System – ABS).

АБС је електро-хидраулични систем који спречава блокирање точкова приликом кочења, што се углавном дешава при веома оштром кочењу или код вожње по клизавој подлози (мокар асфалт, снег, лед...).

НЕКИ СИСТЕМИ СПРЕЧАВАЈУ ГУБИТАК СТАБИЛНОСТИ ВОЗИЛА,  
ПОПУТ СИСТЕМА ЕЛЕКТРОНСКЕ КОНТРОЛЕ СТАБИЛНОСТИ

# МАКСИМАЛНЕ ПЕРФОРМАНСЕ ПРИ КОЧЕЊУ

- Као и код проучавања вучних карактеристика возила, да би се нашле граничне вредности сила кочења, потребно је претходно пронаћи вредности отпора тла по осовинама.



Упрошћавајући једначине претпоставком да је  $h_t = h_v$  следи да су нормалне реакције тла при кочењу :

$$Z_1 = \frac{G \cdot l_2 \cdot \cos \alpha + h_T (R_i - R_v \pm G \cdot \sin \alpha)}{l}$$

$$Z_2 = \frac{G \cdot l_p \cdot \cos \alpha + h_T (R_i - R_v \pm G \cdot \sin \alpha)}{l}$$

# МАКСИМАЛНЕ ПЕРФОРМАНСЕ ПРИ КОЧЕЊУ

Случај потпуног искоришћења коефицијента приањања следи да је за различите могуће случајеве при кочењу:

Кочење само предњим точковима

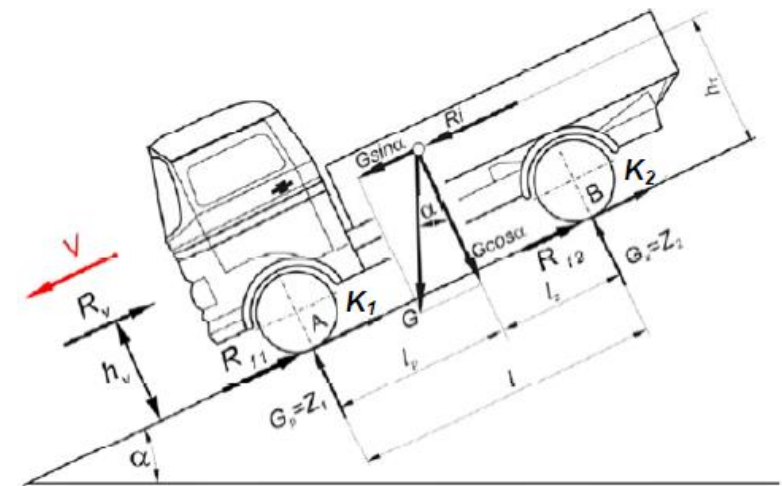
$$K = K_1 = G \cdot \cos \alpha \cdot \frac{l_2 + h_T \cdot f}{l - h_T \cdot \varphi}$$

Кочење само задњим точковима

$$K = K_2 = G \cdot \cos \alpha \cdot \frac{l_p - h_T \cdot f}{l + h_T \cdot \varphi}$$

Кочење свим точковима

$$K_{1max} = K_1 + K_2 = \varphi \cdot (Z_1 + Z_2) = G \cdot \varphi \cdot \cos \alpha$$



$$K_1 = G \cdot \varphi \cdot \cos \alpha \cdot \frac{l_2 + h_T \cdot (\varphi + f)}{l}$$

$$K_2 = G \cdot \varphi \cdot \cos \alpha \cdot \frac{l_p - h_T \cdot (\varphi + f)}{l}$$

# Време и пут кочења

- Време кочења

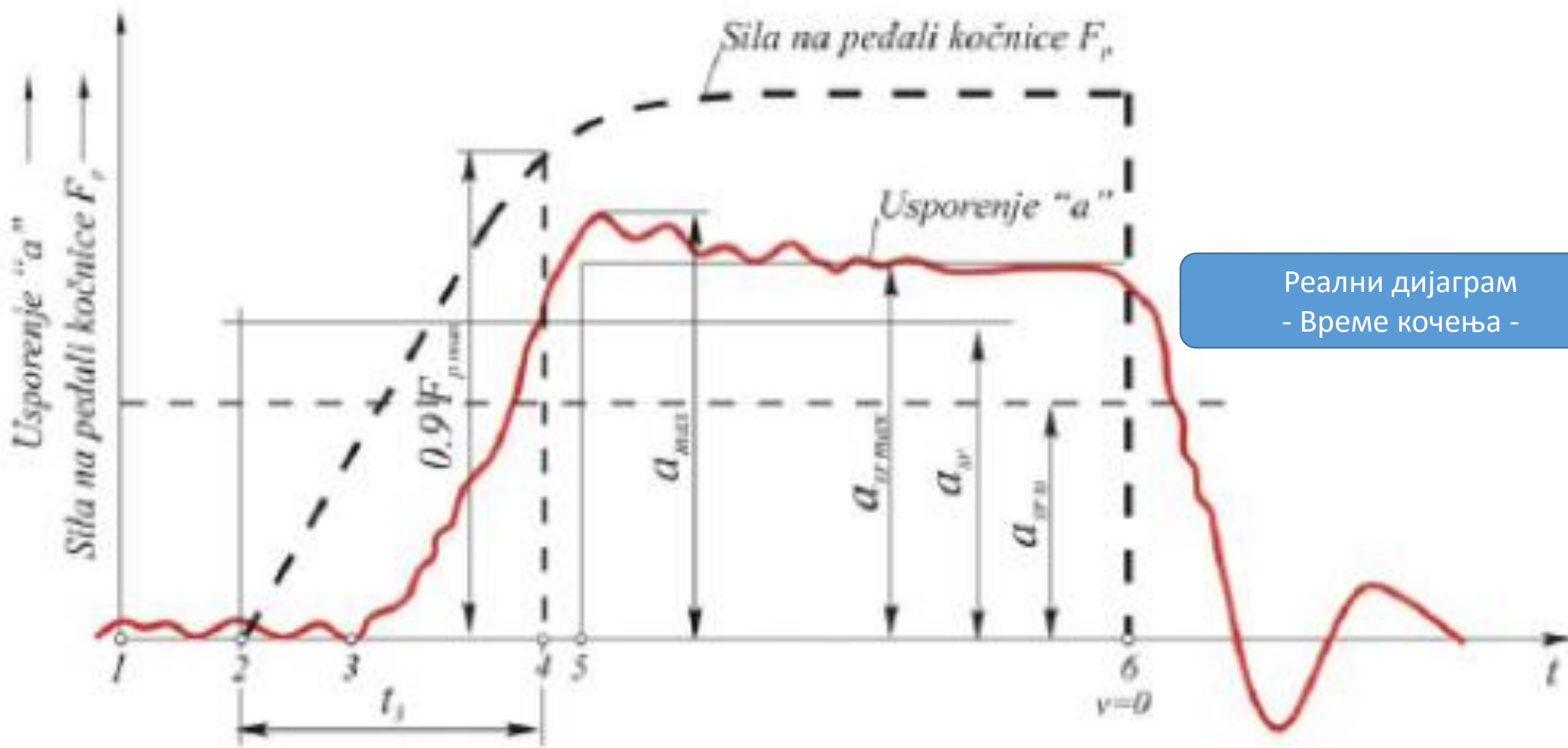
$$t_k = \frac{\delta}{g} \int_{v_2}^{v_1} \frac{dv}{\left( \frac{K \cdot A \cdot v^2}{G} + f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha + \xi \cdot \varphi \cdot \cos \alpha \right)}$$

- Пут кочења

$$S_k = \frac{\delta}{g} \int_{v_2}^{v_1} \frac{v dv}{\left( \frac{K \cdot A \cdot v^2}{G} + f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha + \xi \cdot \varphi \cdot \cos \alpha \right)}$$

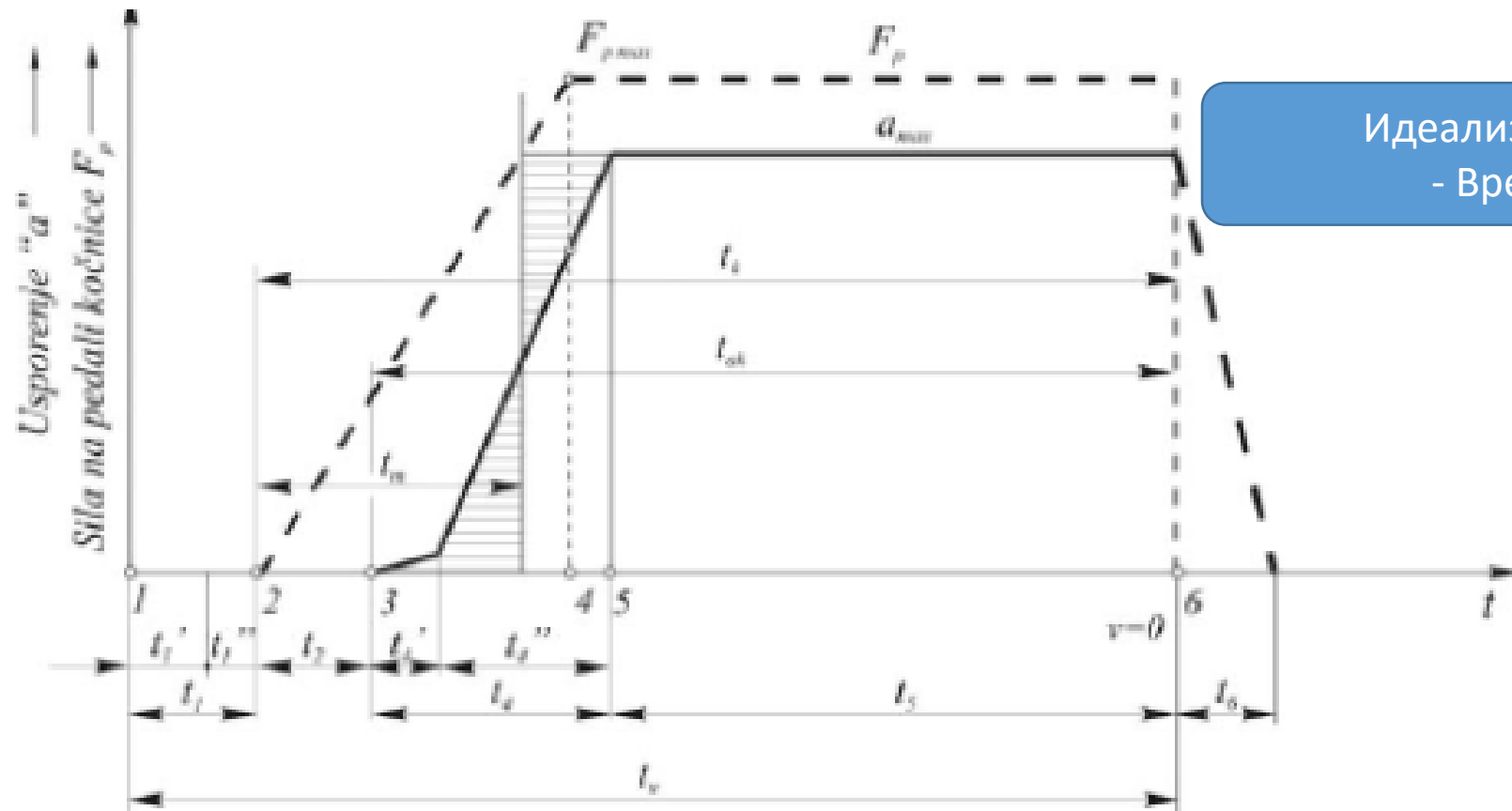
$v_1$  – брзина на почетку кочења  
 $v_2$  – брзина на крају кочења

# Стварни параметри (карактеристике) кочења - време и пут кочења -





# Стварни параметри (карактеристике) кочења - време и пут кочења -



$$t_w = t_1 + t_2 + t_4 + t_5$$

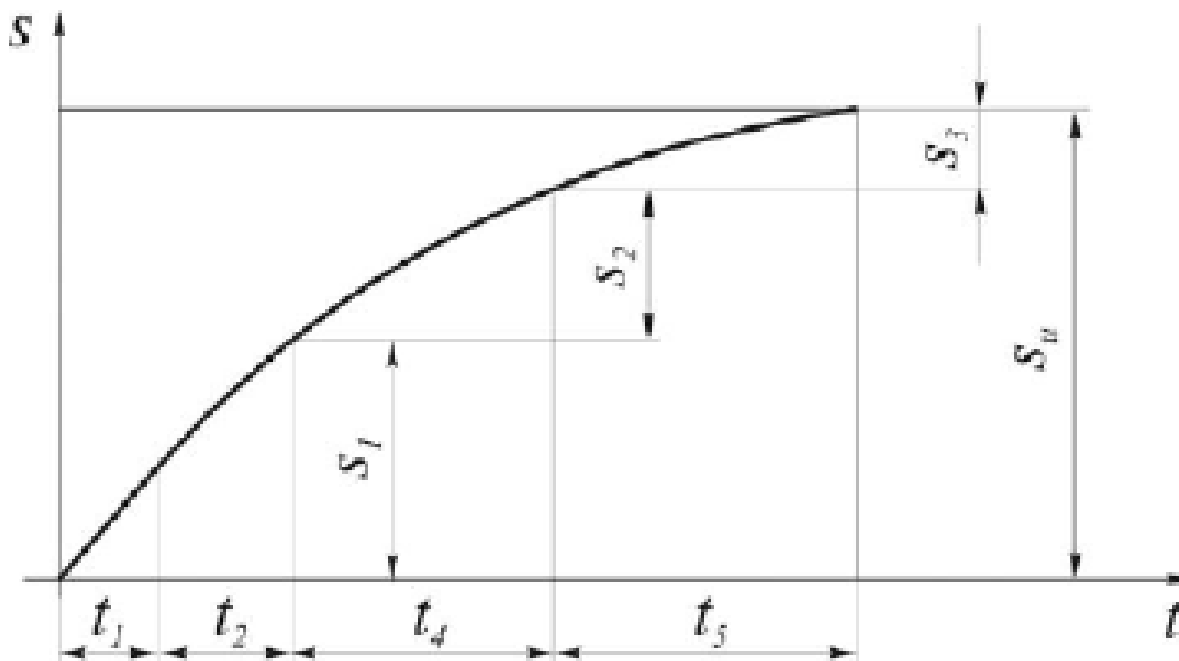
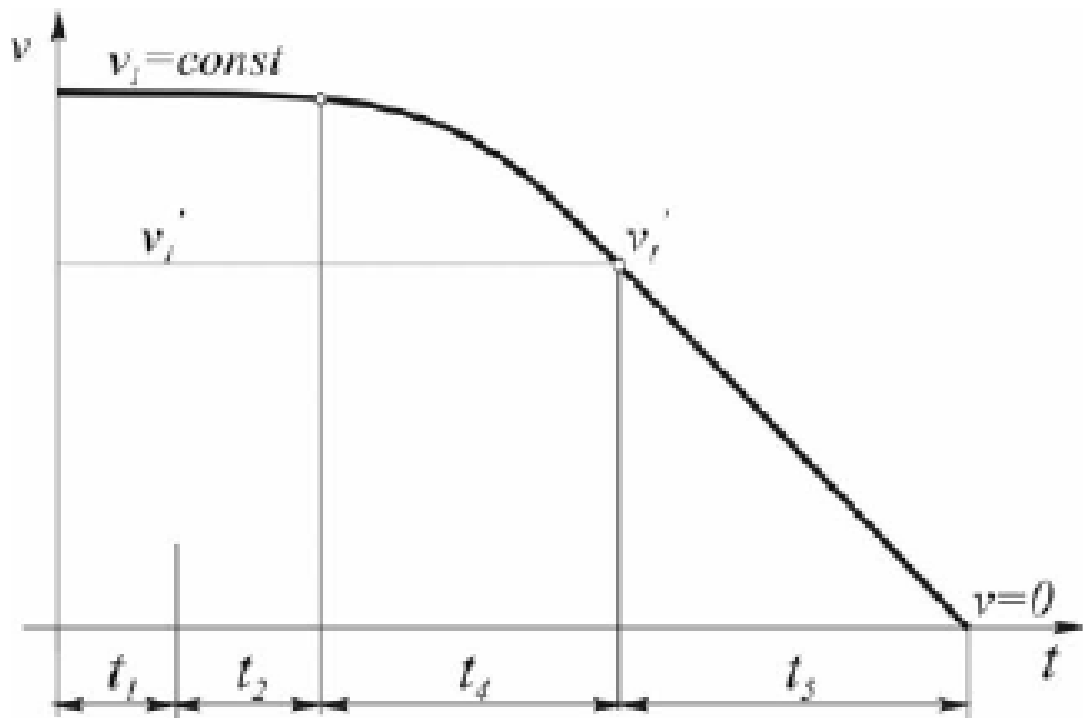
Време активног кочења :

$$t_{ak} = t_4 + t_5$$

$t_1$  – време реаговања возача,  $t_2$  – време реаговања система за кочење,  $t_3$  – време активирања команде,  $t_4$  - време за постизање максималне вредности успорења,  $t_5$  – време активног дејства максималне силе  $t_6$  – време откочивања

# Стварни параметри (карактеристике) кочења

- време и пут кочења -



Промена брзине у зависности од времена кочења

Пут кочења у зависности од времена кочења

# РАСПОДЕЛА КОЧНИХ СИЛА

Висока стабилност кочења и високе кочне карактеристике (ВЕЛИКО УСПОРЕЊЕ И КРАТАК ЗАУСТАВНИ ПУТ) су у супортности јер велико успорење може утицати на то да се наруши стабилност возила.

Конструкција кочног система је таква да се кочне силе расподељују по осовинама у складу са расположивим приањањем. Данас постоје и електронски системи на возилима који препознају оптерећење точка и електронски прорачунавају потребну расподелу кочних сила по точковима.



Возило без система електронске расподеле кочних сила



Возило са системом електронске расподеле кочних сила

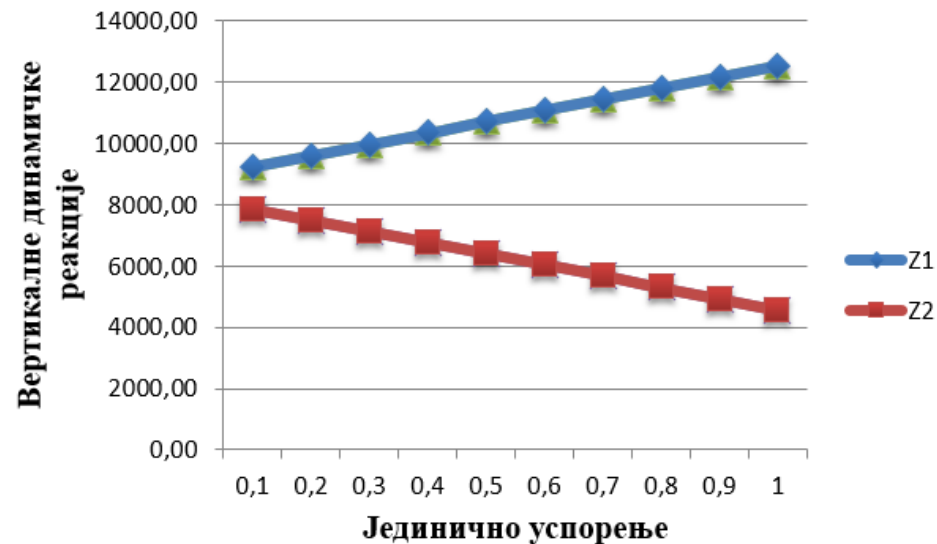


Возило са системом електронске расподеле кочних сила

# РАСПОДЕЛА КОЧНИХ СИЛА

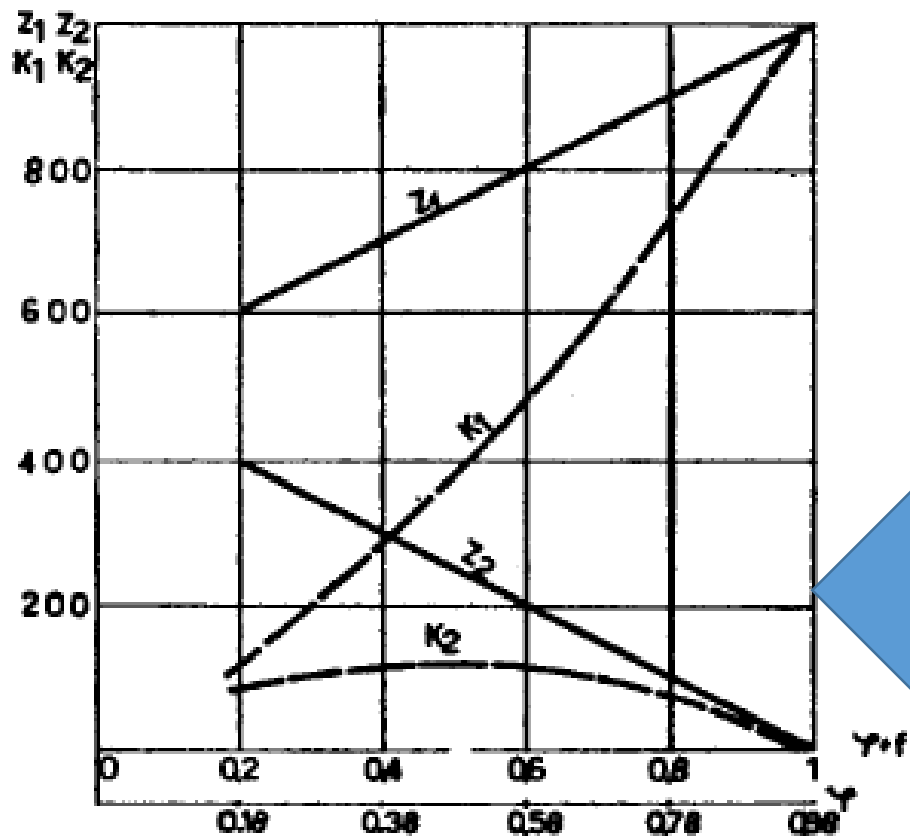
Постоји термин ИДЕАЛНА РАСПОДЕЛА СИЛА кочења и користи се приликом праћења закона расподеле кочних сила.

Промена вертикалних реакција точкова се линеарно мења у зависности од јединичног успорења возила.



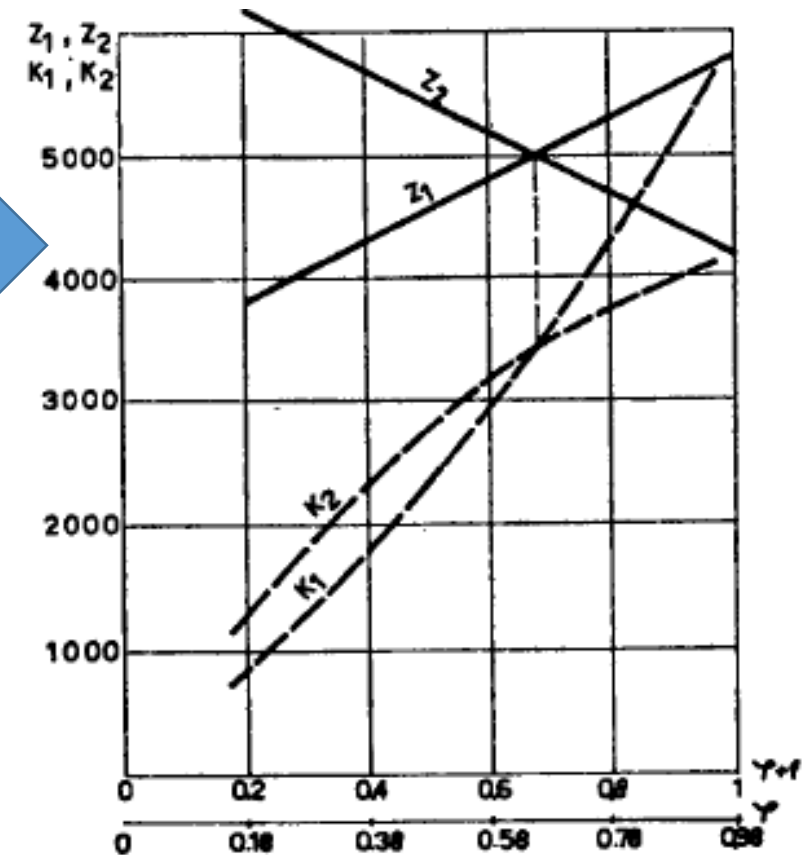
# РАСПОДЕЛА КОЧНИХ СИЛА

Промена вертикалних реакција тачкова ( $Z_1$  и  $Z_2$ ) се линеарно мења и у зависности од приањања тачкова. Промена вертикалних реакција тла се такође разликује и у односу на оптерећење возила. На слици испод уз вертикалних реакција, приказана је и идеална расподела кочних сила.



Промена вертикалних реакција тачкова за случај оптерећеног возила

Промена вертикалних реакција тачкова за случај празног возила



# РАСПОДЕЛА КОЧНИХ СИЛА

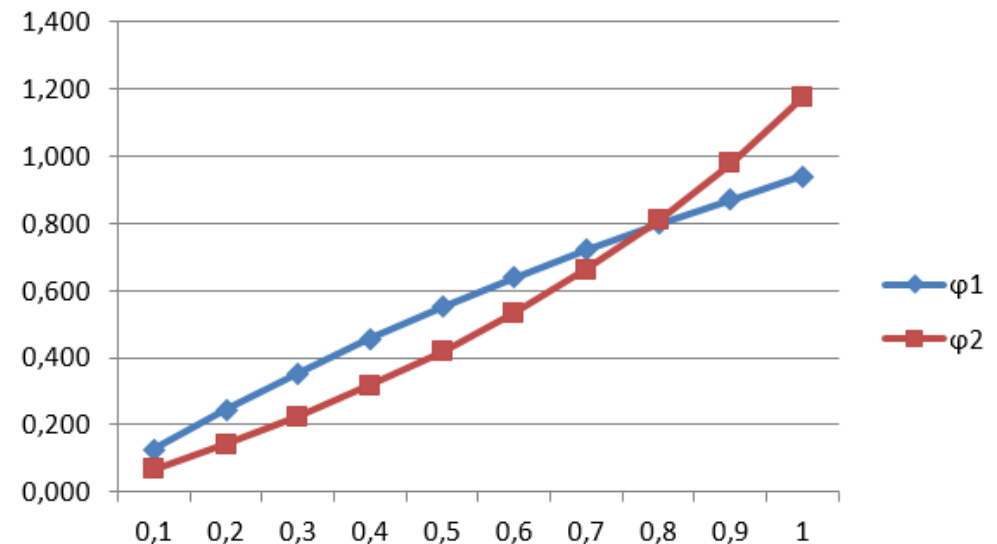
Идеалну расподелу код једноставних кочних система (углавном код система старије конструкције) се не може остварити, имајући у виду да је унапред дефинисан однос расподеле кочних сила. Значи однос кочних сила на предњој и задњој осовини је константан и не мења се.

# Адхезиони дијаграми

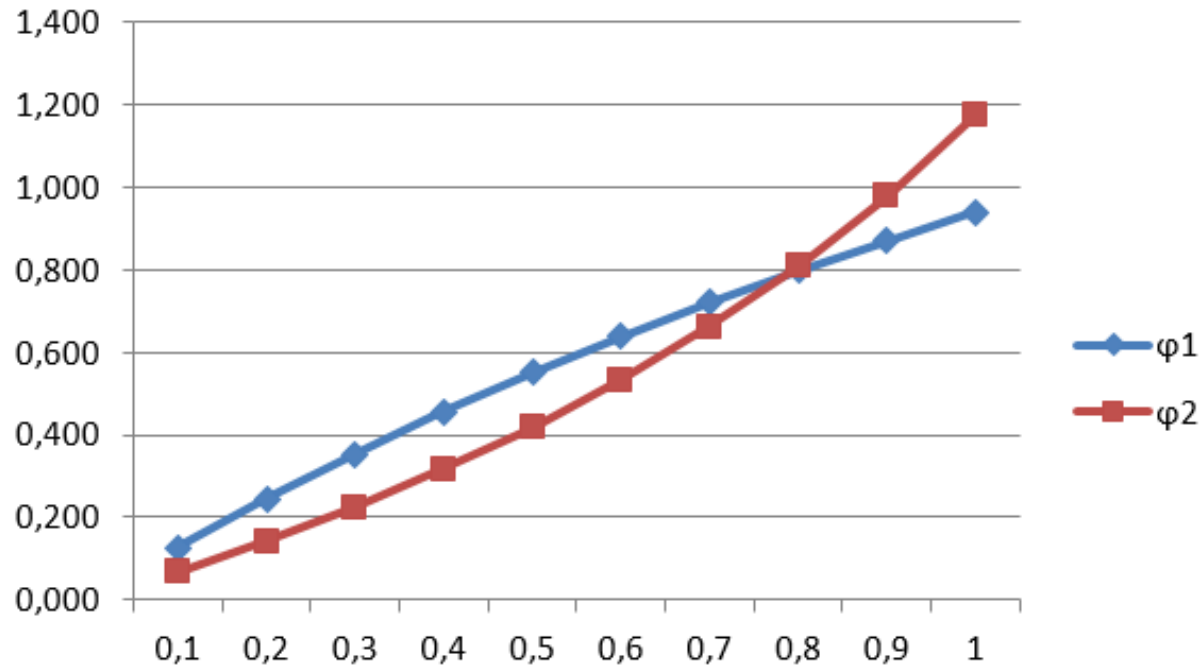
Искоришћење максималне вредности приањања је јако битно приликом кочења. Графичко-аналитичким путем се може одредити помоћу **дијаграма искоришћења приањања (адхезиони дијаграм)**.

Помоћу овог дијаграма је могуће проверити рад кочног система на возилу али такође се може одредити и однос расподеле кочних сила који би требао бити између точкова на предњој осовини ( $K_1$ ) и на задњој осовини ( $K_2$ ).

$$R = \frac{K_1}{K_2}$$



# Адхезиони дијаграми



Са дијаграма је уочљиво да до коефицијента приањања 0,8 постоји могућност блокирања точкова пре свега на предњој осовини, а затим после те вредности долази до блокирања на задњој осовини.



# МОДЕЛИ ВОЗИЛА У АНАЛИЗИ УПРАВЉИВОСТИ

