

Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Назив студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Моторна возила 1

Број индекса: 61/2011

Мирјана Н. Степић

Бочне карактеристике пнеуматика

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јована Лукић, проф. – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише и анализира:

- основне појмове пнеуматика и њихово коришћење,
- услове нарушавања стабилности возила услед дејства силе и
- да прикаже резултате утицаја карактеристика пнеуматика на стабилност и управљивост возила.

Препоручена литература:

[1] Genta G., Morello M.: The automotive chassis – Componentes Design, Mechanical Engineering, Springer, 2009.

[2] Reza N. Jazar: Vehicle Dynamics – Theory and Applications, Mechanical and Manufacturing Engineering, RMIT University, Australia 2009.

Резиме: У оквиру овог завршног рада приказана је анализа утицаја бочних карактеристика пнеуматика. Приказана је важност притиска у пнеуматику који утиче на коефицијент отпора при котрљању, у зависности од тога колико је подлога тврда. Дата је анализа котрљања точка који је оптерећен радијалном силом, које се врши под дејством силе F_T која делује у смеру кретања точка и паралелна је са хоризонталном подлогом. Затим је анализирано праволинијско котрљање точка, без утицаја бочне силе, на кога делује радијално оптерећење G_T , док се траг точка поклапа са правом, која се добија као пресек подужне равни симетрије точка и хоризонталне равни тла. На основу детаљне анализе закључено је да коефицијент отпора при котрљању нагло расте у зависности од брзине кретања и притиска у пнеуматику. Котрљање точка са повећаним брзинама прати већи број појава које проузрокују повећање коефицијента отпора при котрљању. Све ове појаве доводе до већих деформација у предњем делу пнеуматика у зони контакта са подлогом, тј до мањих деформација у задњем делу пнеуматика.

Кључне речи: карактеристике пнеуматика, скретање, клизање..

Summary: In this final paper is analyzed the influence of lateral tire characteristics. The importance of tire pressure, which affects the coefficient of rolling resistance, depending on how the surface is hard is showed. The rolling wheel that is loaded radial force, which is under the influence of F_T force acting in the direction of the wheel and parallel to the horizontal surface is analysed. Then is analyzed the linear rolling wheel without affecting lateral force, which acts on the radial load G_T until the rut coincides with the law, which is obtained as the intersection of the longitudinal plane of symmetry point and the horizontal plane of the ground. Based on a detailed analysis, it was concluded that the coefficient of rolling resistance is growing rapidly, depending on the speed of movement and pressure in the tire. Rolling wheels with increased speed are accompanied with a larger number of events that cause an increase in the coefficient of rolling resistance. All of these lead to larger deformation in front of the tire in the contact zone with the substrate, ie, the smaller the deformation of the rear tire.

Keywords: tire characteristics, cornering, skating..

Садржај

1. КОТРЉАЊЕ ТОЧКА АУТОМОБИЛА	2
1.1 ОСНОВНИ ПОЈМОВИ.....	2
1.2 КОТРЉАЊЕ ТОЧКА.....	8
1.3 КИНЕМАТИКА КОТРЉАЊА ТОЧКА ВОЗИЛА	14
2. КОТРЉАЊЕ ТОЧКА МОТОРНИХ ВОЗИЛА БЕЗ ДЕЈСТВА БОЧНЕ СИЛЕ	18
3. ПОВРШИНСКО КЛИЗАЊЕ.....	21
4. ПОЈАВА ХИСТЕРЕЗИСА	23
5. КОТРЉАЊЕ ТОЧКА УСЛЕД ДЕЈСТВА БОЧНЕ СИЛЕ	25
6. БОЧНА КАРАКТЕРИСТИКА ПНЕУМАТИКА.....	35
7. УТИЦАЈ БОЧНОГ НАГИБА ТОЧКА НА БОЧНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПНЕУМАТИКА	43
8. ЗАКЉУЧАК	45
9. ЛИТЕРАТУРА.....	46

1. КОТРЉАЊЕ ТОЧКА АУТОМОБИЛА

1.1 ОСНОВНИ ПОЈМОВИ

Точак аутомобила се састоји од склопа наплатка и пнеуматика. Под пнеуматиком се подразумева спољашњи и унутршњи пнеуматик, или само спољашњу пнеуматик, код савремених конструкција, примењеним на путничким аутомобилима. Унутрашњи пнеуматик је део пнеуматика, који се пуни ваздухом под притиском, док код унутрашњег пнеуматика, разликујемо више слојева (слика. 1.), најчешће помињан газећи слој или протектор, који има увек на себи шаре, да се не би клизао точак. [2]

Аутомобилски точак је еластичан у свим правцима: радијалном, тангенцијалном и бочном. Разликујемо следеће полупречнике точка, обзиром на еластичност точка у радијалном правцу :

а) Номинални или независни полупречник (r_n), који је дефинисан на основу номиналних димензија точка. Израчунава се:

$$r_n = \frac{d}{2} + h \quad (1.0)$$

где је, d - пречник обода наплатка, а h - висина профила спољашње гуме.

б) Слободни полупречник (r_o), који се дефинише на основу максималног обима точка који се не обрће и на који не дејствују силе. Израчунава се:

$$r_o = \frac{o}{2\pi} \quad (1.1)$$

в) Статички полупречник (r_s), представља растојање од осе точка до подлоге, при чему је точак непокретан и оптерећен радијалном реакцијом. Тај полупречник се израчунава:

$$r_s = -\frac{d}{2} + (1 - \lambda) \quad (1.2)$$

где је λ - коефицијент радијалне деформације пнеуматика под оптерећењем у односу на номиналну висину профила пнеуматика.

г) Динамички полупречник (r_d), представља растојање од осе точка до подлоге када се точак котрља. На точак у том случају делују све или неке силе: радијална, обимна, бочна.

д) Полупречник котрљања (r_t), то је замишљени – теретски полупречник крутог точка који има исту брзину обртања и транслаторну брзину котрљања са стварним точком аутомобила. На основу тога је:

$$r_t = \frac{v}{\omega_T} \qquad r_t = \frac{s}{2\pi n_T} \qquad (1.3)$$

где је:

v - транслаторна брзина точка,

ω_T - угаона брзина точка,

n_T - број обртаја точка у јединици времена,

s - пут точка у јединици времена.

Последња три полупречника (r_s , r_f , r_d), играју главну улогу у прорачуну механике аутомобила.

Данас је врло интензиван развој пнеуматика, како нагазног слоја, еластичних бочних страна пнеуматика, тако и структуре материјала од кога се раде пнеуматици. Код путничких возила углавном се раде пнеуматици без унутрашњих пнеуматика, структура је видљива на (слика 1- а)), а код теретних возила углавном постоји унутрашњи пнеуматик, структура је видљива на (слика 1-б)). [3]

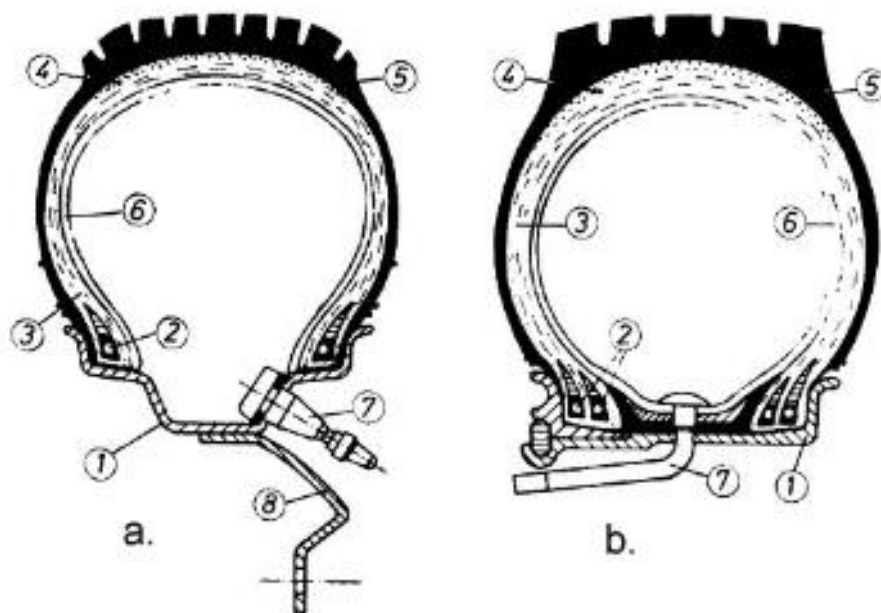
На слици 1 је приказано:

а) точак без унутршњег пнеуматика („ tubeless”), на слици 1.а):

наплатак -1, жичани обруч- 2, платнени уложак -3, међуслој -4, газећи слој (протектор) -5, гумени заптивни слој -6, вентил -7, котур (диск) -8;

б) точак са унутршњим пнеуматиком, на слици 1.б):

наплатак – 1, жичани обруч (језгро) -2, платнени уложак (каркаса) -3, међуслој -4, газећи слој (протектор) -5, унутршњи пнеуматик -6, вентил -7. [2]



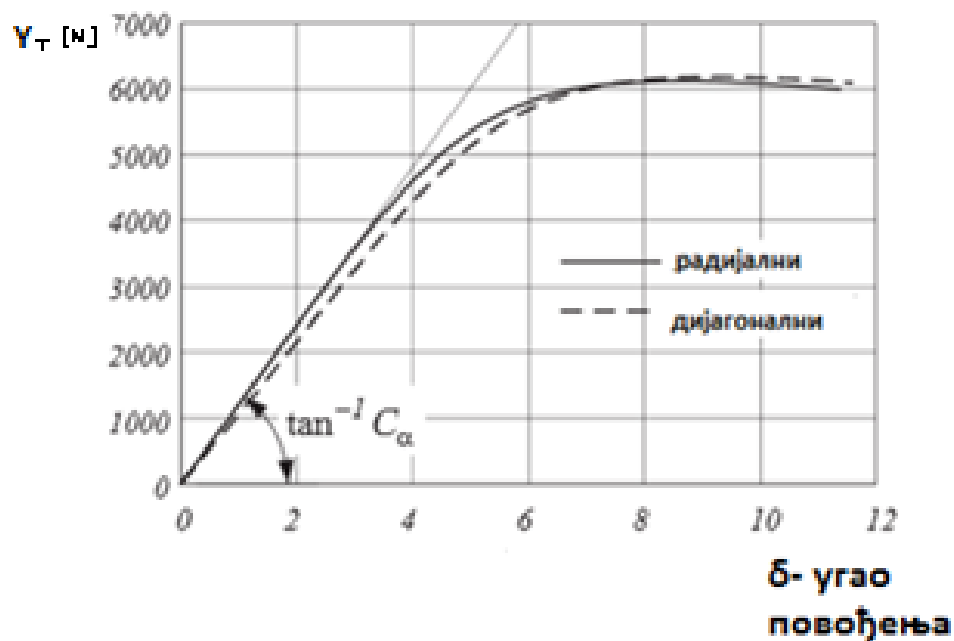
Слика 1. Точак аутомобила; а) наплатак -1, жичани обруч- 2, платнени уложак -3, међуслој -4, газећи слој (протектор) -5, гумени заптивни слој -6, вентил -7, котур (диск) -8; б) наплатак – 1, жичани обруч (језгро) -2, платнени уложак (каркаса) -3, међуслој -4, газећи слој (протектор) -5, унутришњи пнеуматик -6, вентил -7. [2]

На понашање аутомобила у вожњи, еластична својстава аутомобилског точка, имају велики утицај. Та својства еластичног елемента карактерише величина крутости. Ова крутост представља однос прираштаја оптерећења и деформације која је тим прираштајем изазвана, односно:

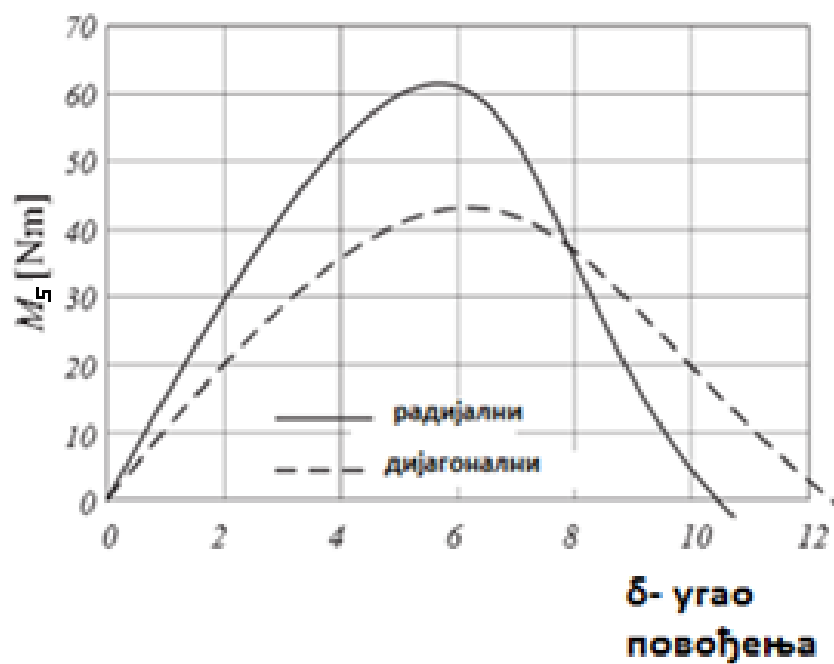
$$c = \frac{\Delta G}{\Delta f} - \frac{\text{сила}}{\text{угиб}} \quad \frac{N}{m}$$

Крутост зависи од материјала и конструкције пнеуматика притиска ваздуха у њој. Такође, утиче и тврдоћа подлоге и брзина оптерећивања (директно зависна од брзине возила).

Пнеуматици се деле на две основе врсте: дијагоналне и радијалне пнеуматике. Највећу улогу за ову класификацију има положај нити платна унутар пнеуматика (слика 4.) Код дијагоналних пнеуматика нити платна су постављене дијагонално, односно увијају се око торуса под углом $\sim 40^\circ$ и представљају нормалне дијагонале пнеуматика. Када је угао $\alpha \approx 30^\circ$ дијагонално су утегнуте и то су тзв. С пнеуматици. Остале нити постављају се вертикално на први слој (пут), треће вертикално на други слој, итд.



Слика 2- Бочна сила Y_T у функцији угла повођења δ за константно вертикално оптерећење



Слика 3- Момент стабилизације M_s у функцији угла повођења δ за константно вертикално оптерећење

Између појединих слојева постоји слој пнеуматика, да се не би слојеви међусобно додиривали. Сви слојеви заједно чине костур (каркаса) пнеуматика. Каркаса код дијагоналних пнеуматика је доста крута, па је пнеуматик, из тог разлога мање еластичан, а због бочних сила се губи контакт на једном делу газећег слоја (протектора) пнеуматика. Нити слоја код радијалних пнеуматика су постављене у правцу радијуса. Оптерећење носи мањи број нити, па пнеуматик има добру еластичност. Разлика у архитектури радијалних и дијагоналних пнеуматика најбоље се види на слици 4. [2]

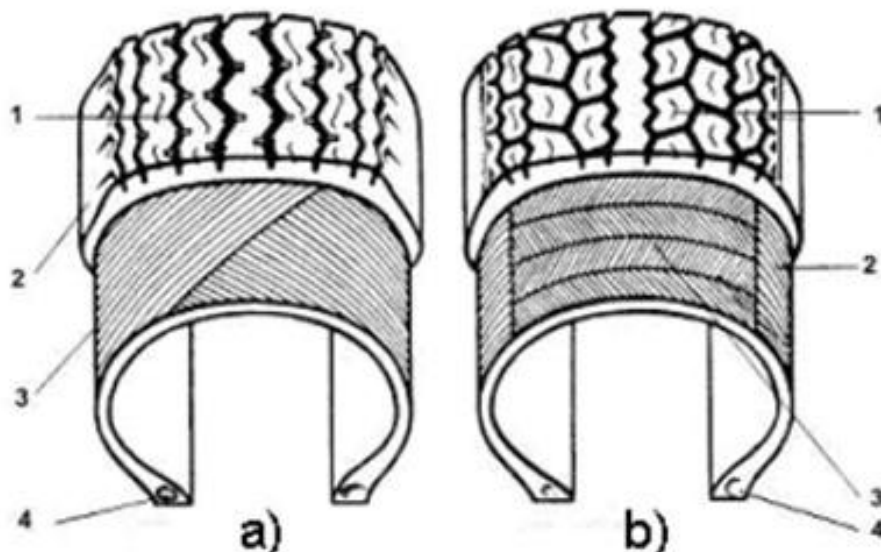
Каркаса је основни део пнеуматика. Она на себи прима највећи део оптерећења пнеуматика, а задатак му је да пнеуматику, у исти време, обезбеди одговарајућу чврстоћу и еластичност. Каркаса се састоји од слојева тканине, која може бити израђена од различитих типова влакана (корда). Број слојева тканине зависи од намене пнеуматика: радијални и дијагонални пнеуматици. Код радијалног типа пнеуматика, угао који нити корда заклапају са уздужном осом пнеуматика износи 90° . На слици 4, приказана је структура каркаса за дијагонални и радијални пнеуматик. [2]

а) на дијагоналном пнеуматику је представљено:

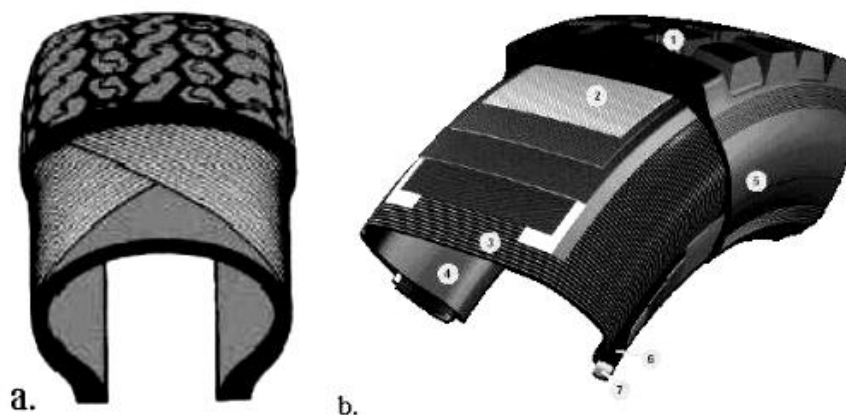
1. газећи слој (протектор),
2. блок пнеуматика,
3. каркаса и
4. жичани обруч – језгра.

б) на радијалном пнеуматику је представљено:

1. газећи слој,
2. каркаса,
3. појасеви и
4. жичани обруч – језгро.



Слика 4. – Дијагонални и радијални пнеуматик [3]



Слика 5. – Архитектура дијагоналног и радијалног пнеуматика [2]

Од услова експлоатације зависи профил спољашњег слоја пнеуматика, па стога постоје пнеуматици који се употребљавају у месецима без снега и пнеуматици који се употребљавају у зимским условима. [2]

У новијем развоју спољњег профила пнеуматика све већа пажња се посвећује профилисању канала по ободу пнеуматика, у циљу смањења отпора, посебно при вожњи по путу где се може наћи слој воде.

Пример шара протектора летњих и зимских пнеуматика путничких возила, дато је на слици 6.



Слика 6. – Шема протектора

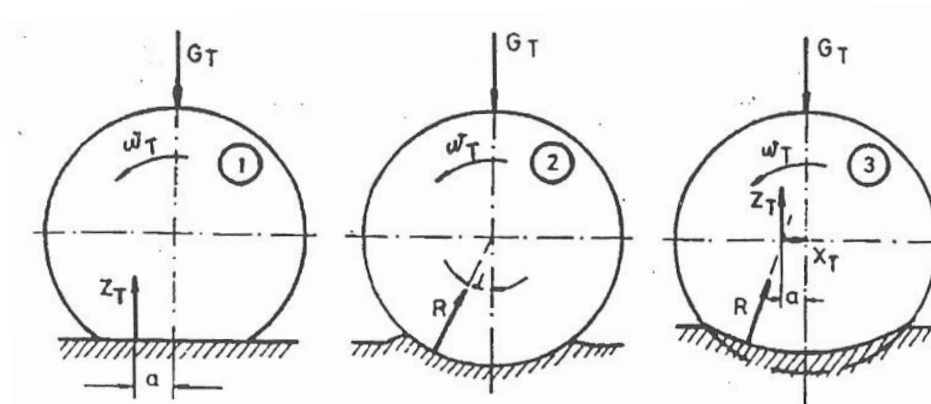
а) летњих, б) зимских пнеуматика возила [2]

1.2 КОТРЉАЊЕ ТОЧКА

Уколико се претпостави случај котрљања точка где се деформише тло и точка, код таквих деформација се троши рад између точка и тла, као и унутрашње трење у материјалу пнеуматика и тла. Коефицијент отпора котрљањазависи од великог броја фактора. [3].

Механика кретања аутомобила се заснива на котрљању точка. Точак се може котрљати по различитим подлогама, у зависности од тога, разликујемо три случаја:

- 1) Случај котрљања еластичног точка по апсолутно тврдом путу.
Деформације тла су занемарљиво мале у односу на деформације точка.
- 2) Случај котрљања апсолутно крутог – тврдог точка по меком путу.
Деформације точка су занемарљиве у односу на деформације пута.
- 3) Случај котрљања еластичног точка по мекој подлози.
Деформације точка и пута су величине истог реда.

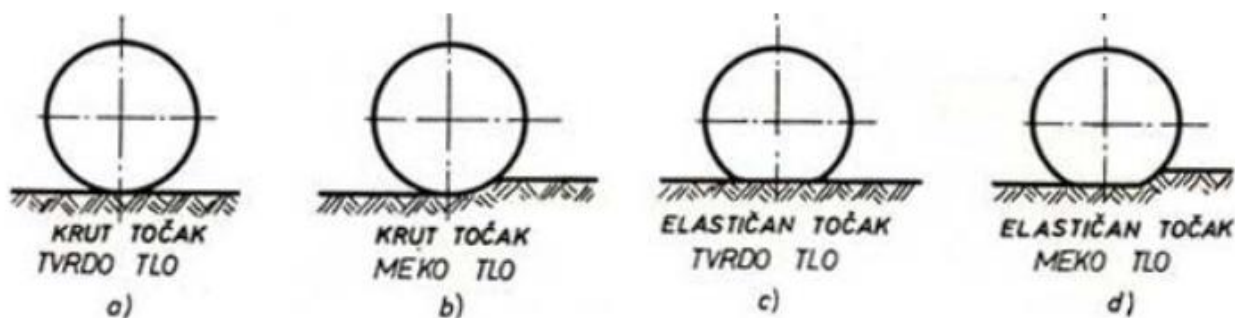


Слика 7- Три случаја котрљања точка [3]

У другом случају реакција тла је **радијална** (пролази кроз осу точка) Отпор при котрљању појављује се у облику силе, хоризонталне компоненте реакције тла (R). Момент отпора при котрљању једнак је нули.

У трећем случају реакција тла (R) је **коса**, постављена је ексцентрично у односу на осу точка. Момент нормалне компоненте $Z_T a$ и сила X_T која делује насупрот котрљању, јесу отпори који се појављују при котрљању.

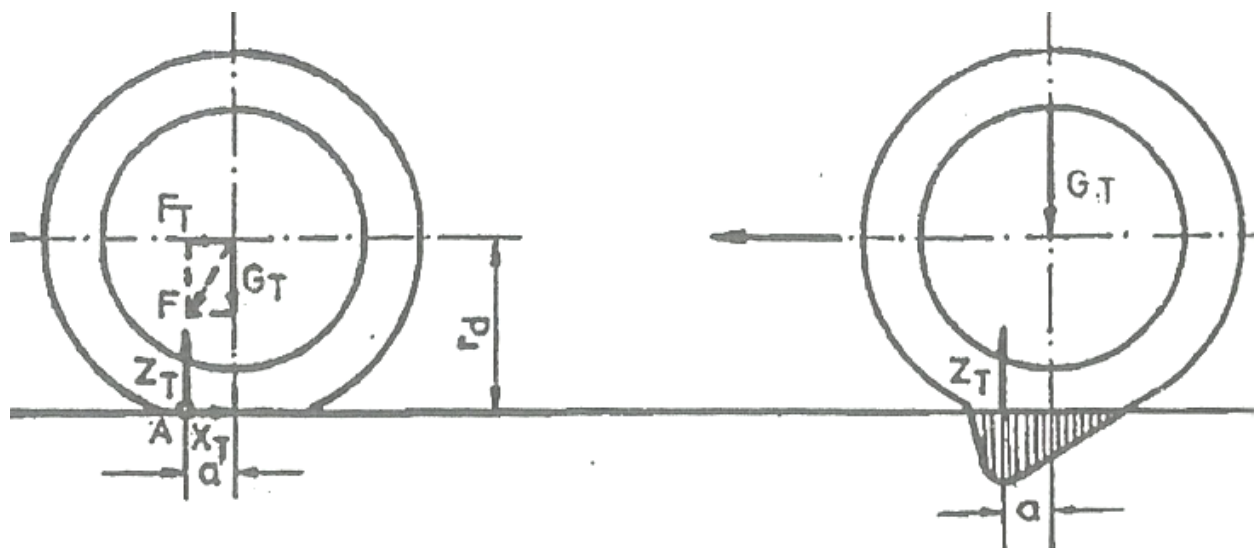
Котрљање еластичног точка по тврдој подлози има највећу важност за прорачунавање механике кретања аутомобила, јер се деформације савремених путева могу занемарити у односу на деформације точка. [3]



Слика 8. – Облици кретања точка по тлу [4]

На слици 9. разматра се први случај, када се котрљање точка, оптерећеног вертикалним оптерећењем G_T , врши се под дејством силе F_T , која делује у смеру кретања

точка и паралелна је са хоризонталном подлогом. Претпоставља се да је кретање равномерно. Силе F_T и G_T образују резултујућу силу F . Компоненте реакције тла су: Z_T – која делује управно на тло, а супротно од G_T и X_T – у равни тла у супротном смеру од кретања. Нападана тачака (А) реакције тла померена је за растојање „ a ” у смеру кретања. При котрљању еластичног точак делови газећег слоја точка имају двојако понашање: Једни улазе у контакт са путем, а други излазе, Делови газећег слоја сабијају се приликом контакта са путем, док се делови који излазе шире. Хистерезис се појављује при деформацији пнеуматика, што значи да је ангажован већи рад на сабијање од повећаног рада при ширењу. Стога је дијаграм расподеле притиска несиметричан са тежиштем – нападном тачком резултујуће силе реакције тла – помереним у смеру котрљања точка. Јасно је да су силе G_T и Z_T по апсолутним вредностима међусобно једнаке. Компонента Z_T са оптерећењем (G_T) образује спрег сила, чији момент је $Z_T a$. [3].



Слика 9.- Котрљање гоњеног точка [3]

Тангенцијална реакција по апсолутној вредности једнака је сили F_T . Уколико са φ означимо коефицијент пријањања између пнеуматика и пута, онда се на тај начин тангенцијална реакција може мењати у интервалу од 0 до $Z_T \varphi$, односно тад важи:

$$0 \leq X_T \leq Z_T \varphi \quad (2.0)$$

$$F_T \cdot r_d = X_T \cdot r_d = Z_T a - \text{услов равнотеже точка} \quad (2.1)$$

$$\text{одатле следи: } F_T = X_T = Z_T \frac{a}{r_d} \quad (2.2)$$

Закључујемо из једначине (2.1), да сила гоњења F_T заједно са силом трења X_T образују спрег сила, чији је момент уравнотежен с моментом опора при котрљању:

$$M_f = Z_T a \quad (2.3)$$

Тако да, израз (2.2) можемо да напишемо у облику:

$$F_T = R_f = \frac{M_f}{r_d} = Z_T \frac{a}{r_d} = Z_T f = G_T f \quad (2.4)$$

$$\text{или} \quad R_f = G_T f$$

Уводи се нова фиктивна силу R_f у једначину (2.4) којој ћемо дати назив отпор при котрљању или отпор котрљању. Сила R_f једнака је сили F_T , по апсолутној вредности, директно је пропорционална вертикалном оптерећењу G_T и односу $\frac{a}{r_d}$, који се назива коефицијент отпора (при) котрљању. [3]

Услов за добијање котрљање точка, добија се из неједначине (2.0) и односом (2.3). Тако се добија $Z_T \frac{a}{r_d} \leq Z_T \varphi$ тј. :

$$f \leq \varphi \quad (2.5)$$

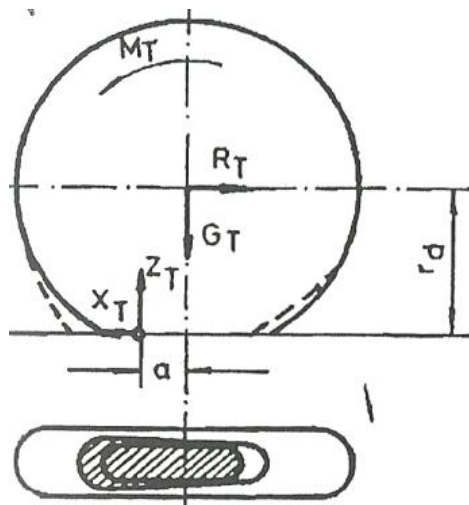
Разматрањем сложенијег случаја, према слици 10 где је котрљање точка под дејством доведеног момента (M_T), претпостављамо да је кретање равномерно, док је отпор ваздуха занемарљиво мала величина. Реакције тла X_T и Z_T појављују се услед дејства доведеног – погонског момента M_T и радијалног оптерећења точка G_T , и тако образују моменте $X_T \cdot r_d$ и $Z_T \cdot a$, који се уравнотежавају са погонским моментом. Реакција R_T се појављује на осовини точка у хоризонталном правцу, која је једнака по апсолутној вредности са тангенцијалном реакцијом тла X_T , али супротног смера. Према томе: [3]

$$M_T = X_T \cdot r_d + Z_T \cdot a \quad (2.6)$$

$$X_T = \frac{M_T}{r_d} - Z_T f = \frac{M_T}{r_d} \cdot Z_T f \quad (2.7)$$

Обимну силу погонског точка представља однос $\frac{M_T}{r_d}$, коју ћемо обележити са F_T ;

$G_T \cdot f$ је фиктивна сила при котрљању, и обележава се са R_f . Стога једначина (2.7) је:



Слика 10- Котрљање погонског точка [3]

$$X_T = F_T - R_f \quad (2.8)$$

На основу свака, можемо наћи услов, где је могуће котрљање точка (без клизања). Помоћу неједначина (2.0):

$$X_T \leq Z_T \varphi$$

$$\frac{M_T}{r_d} - Z_T \cdot f \leq Z_T \varphi, \text{ или:}$$

$$\frac{M_T}{r_d} = F_T \leq Z_T (\varphi + f) \quad (2.9)$$

$$F_{T\max} = Z_T (\varphi + f) \quad (2.10)$$

Коефицијент отпора котрљању (f) је мала величина и односу на коефицијент пријањања (φ), за мале брзине аутомобила, до 60 km/h, стога се може занемарити, па се добија израз :

$$F_T \leq Z_T \varphi \text{ и } F_{T\max} \approx Z_T \varphi \quad (2.11)$$

Израз (1.11) одговара случају крутог точка и круте подлоге, и зато имамо знак једнакости.

Точак који се кочи моментом кочења $M_K = - M_T$, познат као специјални случај погонског точка, приказан је на слици 11. Реакцијама X_T и R_T мења се смер, због промене знака доведеног момента. Такође величина M_K момента може да се мења од 0 до

минималне неке вредности, која одговара почетку проклизавања коченог точка.
Тангенцијална реакција X_T , мења се у границама: [3]

$$-fZ_T > X_T \geq -Z_T \varphi \quad (2.12)$$

границе M_K су:

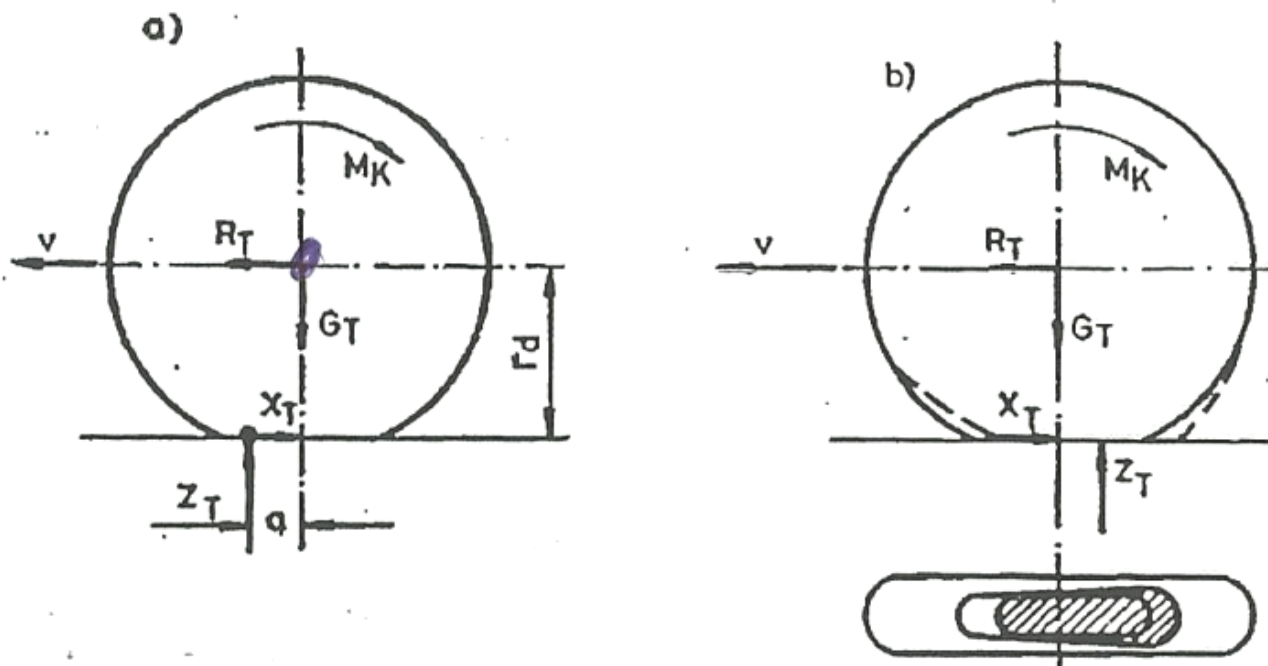
$$0 > M_K \geq -Z_T (\varphi r_d - a)$$

Минимална обимна сила коченог точка је:

$$F_{T\min} = -Z_T (\varphi - f) \quad (2.13)$$

пошто је моментна једначина (према слици 11а.):

$$M_K = (-M_T) = X_T r_d - Z_T a \quad M_T = -X_T r_d + Z_T \cdot a \quad (2.14)$$



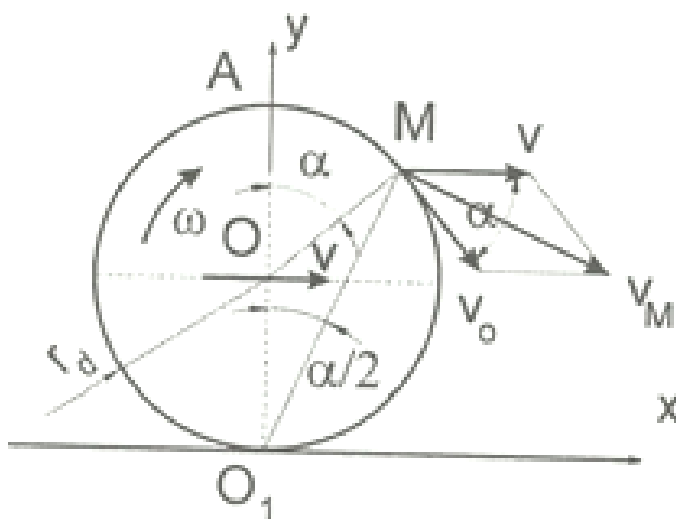
Слика 11. – Кочени точак [3]

Са повећањем момента M_T , повећава се апсолутна вредност тангенцијалне реакције X_T , која проузрокује смањење крака „а”. Резултујућа нормална реакција тла може да делује на неком растојању „а”, при великом моменту кочења иза попречне равни симетрије точка (слика 11б.) [6].

1.3 КИНЕМАТИКА КОТРЉАЊА ТОЧКА ВОЗИЛА

Котрљање точка као идеалан случај, јавља се када су точак и пут апсолутно крути. У том случају се пол брзине налази у тачки O_1 , док се точак котрља праволинијски, све је то приказано на слици 12. Контакт деформације пнеуматика и тла остварује се по површинама, у реалним условима. [1]

Претпоставља се да се точак котрља без прокизавања, угаоном брзином, док се посматра било која тачка на обиму точка (на пример тачка М).



Слика 12. – Кинематика котрљања точка [1]

Ако се брзина центра точка означи са v , а обимна брзина са v_o , користећи кинематичку, резултујућа брзина тачке М је:

$$v_M = v + v_o = v + [\omega, r], \quad (2.15)$$

тј. :

$$v_M = \overline{O_1 M \omega} \quad (2.16)$$

У специјалном случају тачка А ($\alpha=0$):

$$v_A = 2r\omega, \quad (2.17)$$

а за тачку O_1 ($\alpha = 180^\circ$):

$$v_{O_1} = 0 \quad (2.18)$$

Тачка М се креће по закону, у односу на непокретни координатни систем O_1xy , који се може одредити на основу слике 13. Ако се тачка заокрене за угао α , тако се његова оса помера из тачке O_1 у тачку O_2 , док тачка М, заузима положај M' . [1]

Величина x , описује положај тачке М:

$$x = \overline{AM} - \overline{AC}. \quad (2.19)$$

Пошто нема проклизавања, растојање $\overline{AM}$ једнако је луку $AM = r\alpha$.

На слици 13. се види да је $\overline{AM} = r \sin \alpha$, па је координата у тачки М:

$$y = \overline{MC} = \overline{AD} = \overline{AO_1} - \overline{DO_1}, \quad (2.20)$$

одатле:

$$\overline{AO_1} = r, \quad \overline{DO_1} = r \cos \alpha. \quad (2.21)$$

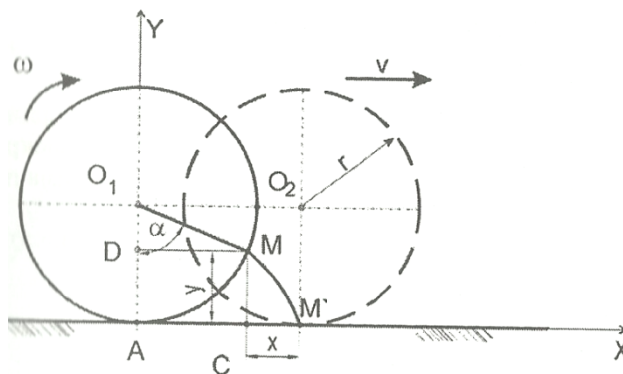
Помоћу једначине (1.21) може се написати:

$$x = r\alpha - r \cos \alpha = r(\alpha - \sin \alpha), \quad y = r - r \cos \alpha = r(1 - \cos \alpha) \quad (2.22)$$

Једначина (2.22) показује да тачку на обиму тачка, описује циклоиду, током његовог чистог котрљања.

Компоненте брзине тачке М, могу се одредити диференцирањем израза (2.22) по времену, [1]:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = r\omega(1 - \cos \alpha) \quad v_y = \frac{dy}{dt} = r\omega \sin \alpha. \quad (2.23)$$



Слика 13- Путања обима тачка [1]

Док компоненте убрзања тачке М, могу се одредити диференцирањем једначине (2.23) по времену :

$$j_x = \frac{dv_x}{dt} = r\omega^2 \sin\alpha, \quad j_y = \frac{dv_y}{dt} = r\omega^2 \cos\alpha. \quad (2.24)$$

Модуо резултујућег убрзања је модуо векторског збира компонената убрзања: j_x , и j_y , [1] :

$$j = r\omega^2. \quad (2.25)$$

Приликом деловања монументата и сила, могу се јавити и случајеви када није испуњен услов једнакости између преносне брзине и брзине центра тачка. Оваква појава је приказана на слици 14. као последица клизања и тангенцијалне еластичности пнеуматика.

Коефицијент клизања, представља однос брзине центра тачка и обимне брзине, који је дефинисан :

$$s = \frac{v_0 - v}{v_0} \quad (2.26)$$

Обимна брзина v_0 , може се написати:

$$v_0 = r_d \omega$$

Док је брзина центра тачка: (2.27)

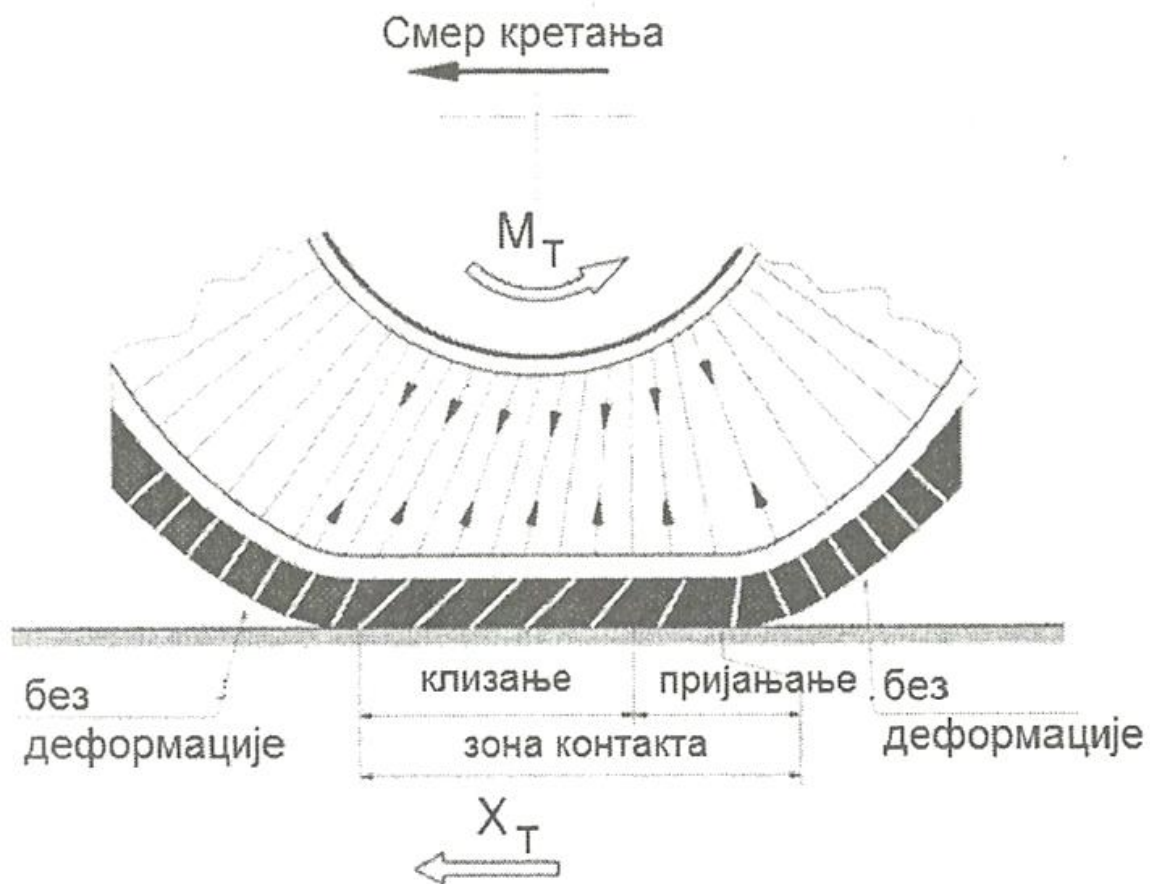
$$v = r_f \omega$$

И коефицијент клизања:

$$s = 1 - \frac{r_f}{r_d}, \quad (2.28)$$

одатле је:

- r_f - кинематски и
- r_d — динамички полупречник тачка.



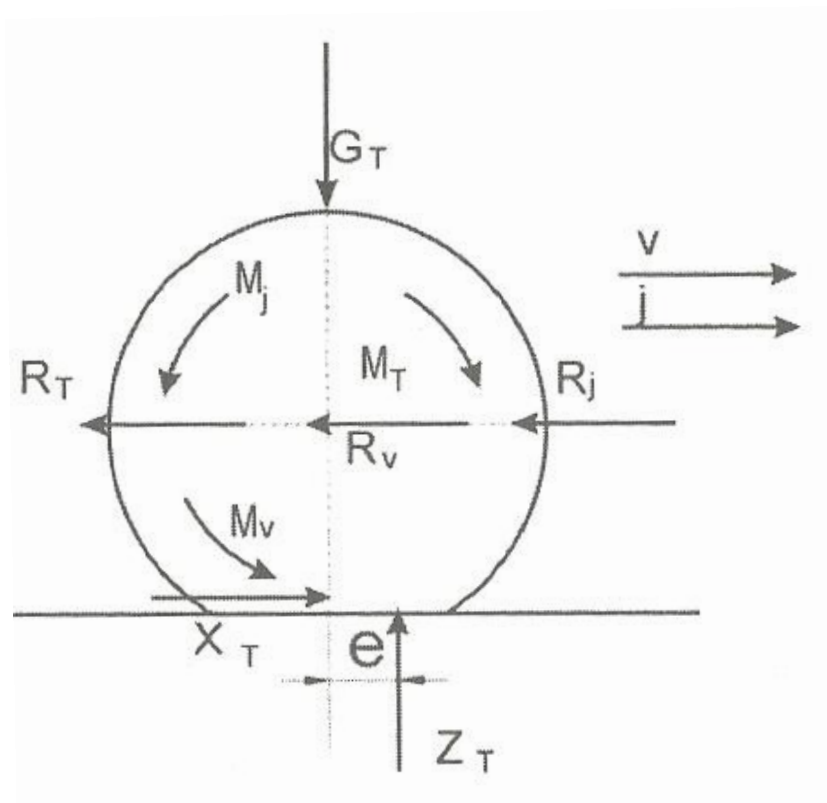
Слика 14.- Тангенцијална еластичност пнеуматика [1]

2. КОТРЉАЊЕ ТОЧКА МОТОРНИХ ВОЗИЛА БЕЗ ДЕЈСТВА БОЧНЕ СИЛЕ

Посматра се кретање радијално – еластичног точка на који делује сила и момент. У овом случају подлога је много крућа од точка, што је случај код савремених путева, слика 15.

Котрљање точка без утицаја бочне силе врши се у равни точка, а карактер самог кретања зависи од карактера сила које делују на точак. [3]

Точак приказан на слици 15. има транслаторно убрзано кретање. Вертикално оптерећење G_T и обртни момент M_T , који је већи од момента веертикалне реакције $Z_T \cdot a$, делују на точак. Приликом кретања точка јављају се деформације пнеуматика како у радијалном, тако и тангенцијалном правцу. Динамичка реакција тла Z_T је за растојање „ a ” померена у смеру кретања точка. Подлога по којој се точак креће је хоризонтална. Између осталог, на точак делују и следеће силе и моменти. [1]



Слика 15. – Котрљање точка без дејства бочне силе [1]

X_T - хоризонтална реакција тла услед дејства момента M_T ;

R_T - хоризонтална реакција од осовине услед дејства момента M_T ;

$R_i - m_T \frac{dv}{dt}$ - инерцијална сила услед дејства транслаторног кретања точка (m_T - маса точка; $\frac{dv}{dt}$ - убрзање осе точка);

R_V – сила отпора ваздуха која се супротставља транслаторном кретању точка;

M_V – момент отпора ваздуха, којим се исти супротставља обртању точка

$M_j - J_T \frac{d\omega_T}{dt}$ - инерцијални момент отпора убрзаном обртању точка (J_T - момент инерције точка; $\frac{d\omega_T}{dt}$ - угаоно убрзање точка). [3]

Диференцијалне једначине кретања точка, могу се написати помоћу закона из динамике:

$$Z_T = G_T,$$

$$X_T = R_T + R_j + R_V, \quad (3.0)$$

$$M_T = Z_T e + X_T r_d + M_j + M_r.$$

Када се центар точка креће константном брзином, у том случају се може занемарити момент отпора ваздуха M_V и силу отпора ваздуха R_V , тада би $M_V \approx 0$ и $R_V \approx 0$, па би систем (1.29) се свео на:

$$Z_T = G_T$$

$$X_T = R_T + R_f \quad (3.1)$$

$$M_T = Z_T \cdot a + X_T \cdot r_d + M_i$$

када је брзина $v = \text{const.}$ код равномерног кретања је:

$$\frac{d\omega_T}{dt} = 0 \text{ и } \frac{dv}{dt} = 0, \text{ одатле се добија:}$$

$$Z_T = G_T$$

$$X_T = R_T \quad (3.2)$$

$$M_T = X_T r_d + Z_T a$$

Уколико се анализира последња једначина из система (3.2) може се закључити: Тангенцијалну позитивну реакцију тла X_T има погонски точак. Момент M_T је доведен момент и већи је од момента $Z_T \cdot a$, за износ $X_T \cdot r_d$. Тангенцијална реакција тла X_T зависи од момента M_T , уколико се момент M_T смањује, смањиће се и тангенцијална реакција тла X_T .

Уколико је момент $M_T = a \cdot Z_T$, тангенцијална реакција тла постаје $X_T = 0$. За вредности $M_T < a \cdot Z_T$ тангенцијална реакција X_T постаје негативна. [3]

На основу једначине (2.13) може се увести појам о стању точка, у зависности од величине момента M_T и тангенцијалне реакције X_T .

$$M_T > a \cdot Z_T \quad \text{и} \quad X_T > 0 \quad \text{У овом случају точак је погонски.}$$

Код погонског точка увек тангенцијална реакција X_T делује у правцу кретања. $X_{T \max} = \varphi Z_T$ – је максимална вредност тангенцијалне реакције, њене вредности се могу наћи у границама према једначини (2.0), тако да је за погонски точак

$$0 < X_T \leq \varphi Z_T$$

Максимална вредност момента је:

$$M_{T \max} = X_{T \max} \cdot r_d + a \cdot Z_T = \varphi Z_T \cdot r_d + a \cdot Z_T \varphi = (\varphi r_d + a) Z_T \quad (3.3)$$

Момент се креће у интервалу:

$$Z_T (\varphi r_d + a) \geq M_T \geq a Z_T \quad (3.4)$$

а) $M_T = Z_T \cdot a$ и $X_T = 0$ – точак ј слободан.

б) $0 > X_T > -\varphi Z_T$, $Z_T a > M_T > 0$ – точак је неутралан.

в) $X_T = -\varphi Z_T$, $M_T = 0$ – точак ј гоњени.

г) $M_T < 0$. Точак је кочени.

Тангенцијална реакција је негативна, односно делује у супротном смер од смера кретања. Вредност јој се креће у интервалу између $-Z_T \varphi$ и $-Z_T$.

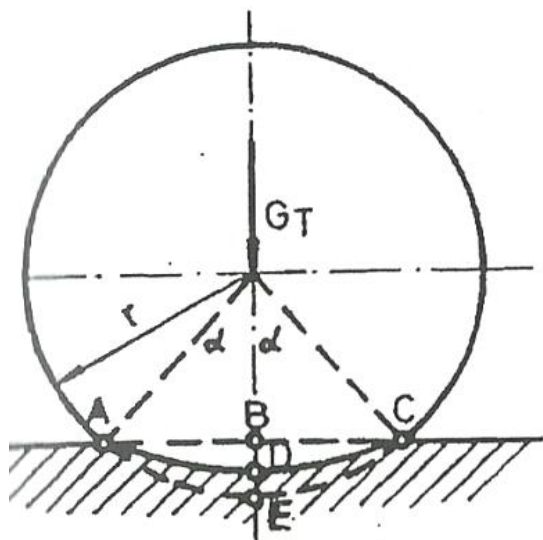
3. ПОВРШИНСКО КЛИЗАЊЕ

Ако се посматра један упрошћен пример, где је точак непокретан и оптерећен је вертикалним опетрећењем G_T , слика 16.

Лук који образују тачке АЕС скраћује се на величину ADC, због деформације која настаје на точку. Услед деформације пута одсечак ABC претвара се у дужи лук ADC. Тангенцијалну еластичност точка се може да занемарити да би се израчунао укупан пут клизања елемената додирне површине точка на тлу. [3]

Укупни пут површинског проклизавања је:

$$S = AEC - ADC + ADC - ABC = AEC - ABC \quad (4.1)$$



Слика 16.- Површинско клизање [1]

На основу овога добија се разлика лука точка и дела пута, који се нису деформисали. Разлика не зависи од лука по коме се стварно додирују точак и тло. Уколико се једначина (1.34) изрази помоћу полупречника точка „ r ” и угла „ α ”, слика 16:

$$S = 2r \alpha - 2r \sin \alpha = 2r(\alpha - \sin \alpha) \quad (4.2)$$

ако се растави $\sin \alpha$ у ред:

$$\sin \alpha \approx \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \frac{\alpha^7}{7!} + \dots$$

уколико се користи прва два члана једначина претходна изгледа овако:

$$S = 2 r \left(\alpha - \alpha + \frac{\alpha^3}{3!} \right) = \frac{r \alpha^3}{3} \quad (4.3)$$

Рад силе трења на путу S:

$$L = G_T \cdot \mu \frac{r \alpha^3}{3} \quad (4.4)$$

μ - коефицијент трења при клизању точка. На осовину точка делује сила F_T , која потискује точак да се котрља. Ако се точак окрене за угао 2α , његов центар ће бити померен транслаторно за величину S_1 :

$$S_1 = 2 r \sin \alpha \approx 2 r \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3!} \right) \quad (4.5)$$

рад силе F_T је једнак:

$$L_1 = 2 F_T r \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3!} \right) \quad (4.6)$$

Уколико је кретање равномерно са константном брзином и да на точак не делују други отпори. Рад сила трења у овом случају (L) једнак је раду (L_1) дејствујуће силе F_T :

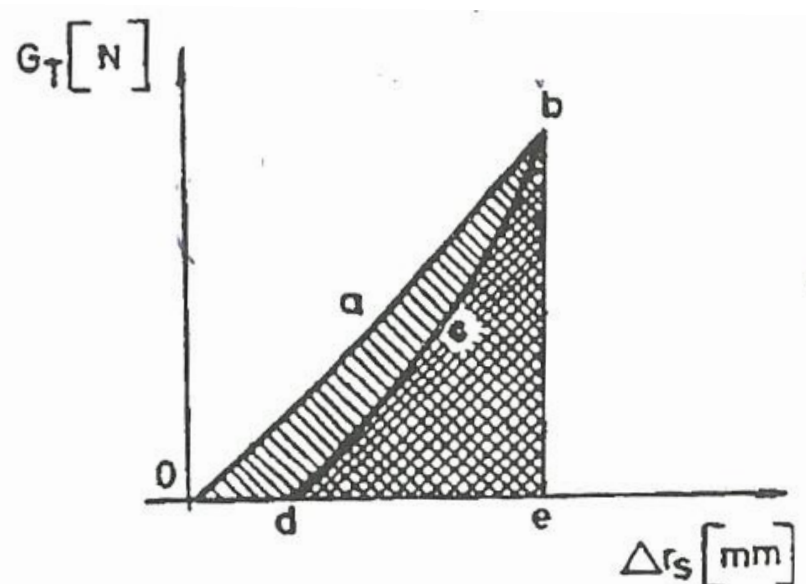
$$G_T \mu \cdot \frac{r \alpha^3}{3} = 2 F_T r \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3!} \right) \quad (4.7)$$

$$F_T = G_T \mu \frac{\alpha^2}{6 - \alpha^2} \quad \text{или} \quad \frac{F_T}{G_T} = f' = \mu \frac{\alpha^2}{6 - \alpha^2} \quad (4.8)$$

Представу о коефицијенту отпора при котрљању (f'), даје једначина (4.8), за посматрани случај. Клизање би било мало, ако би се узела тангенцијална еластичност пнеуматика. Посматрање апсолутно тврдог тла и еластичног точка је реалније и проблем се знатно компликује, ако се посматра дејство доведеног момента на точак, у обзир се узима стварна расподела притиска у зони контакта и посматра се понашање појединих елементарних делова пнеуматика у процесу котрљања.

4. ПОЈАВА ХИСТЕРЕЗИСА

Унутрашње трење у материјалу пнеуматика, зависи од особине и врсте материјала, па и од конструкције пнеуматика. У првом реду радијално оптерећење, онда тангенцијално услед обимне силе изазива се деформација у радијалном и тангенцијалном правцу. Унутрашње трење изазива свака врста деформације пнеуматика. Унутрашње трење са собом повлачи и губитак енергије. Материјал од кога су направљени унутрашњи и спољашњи пнеуматици, није апсолутно еластичан, услед чега долази до појаве хистерезиса, слика 17.



Слика 17. – Појава хистерезиса [3]

Уколико се повећава оптерећење точка, смањује се статички полупречник r_s . Ако се статички полупречник Δr_s промени, при постепеним повећавању оптерећења точка G_T до одређене величине, добијамо криву O_{ab} . Илити, при постепеном смањивању оптерећења G_T , промена статичког полупречника вршиће се по кривој bcd . Површина испод криве „a” представља рад утрошен на деформацији гуме. Рад који одговара површини испод криве „c” (bde), враћа се услед непотпуне еластичности пнеуматика са смањењем терета.

При деформацији гуме, петља obd , представља неповраћену енергију. Ова појава зове се хистерезис. Учесталост циклуса промене оптерећења точка је велика, при котрљању точка по путу. Део енергије се изгуби у сваком циклусу.

Неповраћена енергија, петља хистерезиса, се може смањити правилним одабиром материјала за пнеуматике са малим унутрашњим трењем, смањењем крутости газећег слоја, смањењем броја платна и другим конструктивним мерама.

За одређене димензије пнеуматика, петља хистерезиса је онолико мања, колико је притисак ваздуха у пнеуматику већи. Притисак у пнеуматику утиче на коефицијент отпора котрљању, у зависности од тога колико је подлога тврда. Ако је подлога тврда пад притиска ваздуха повећава деформације пнеуматика, па и коефицијент отпора при котрљању. Уколико је подлога мека, повећани притисак ваздуха доводе до дубљег закопавања точка, самим тим и до повећања отпора подлоге. Са смањењем притиска ваздуха код меке подлоге, мање се укопава точка, смањује се отпор подлоге, али се услед веће деформације пнеуматика, повећава хистерезис.

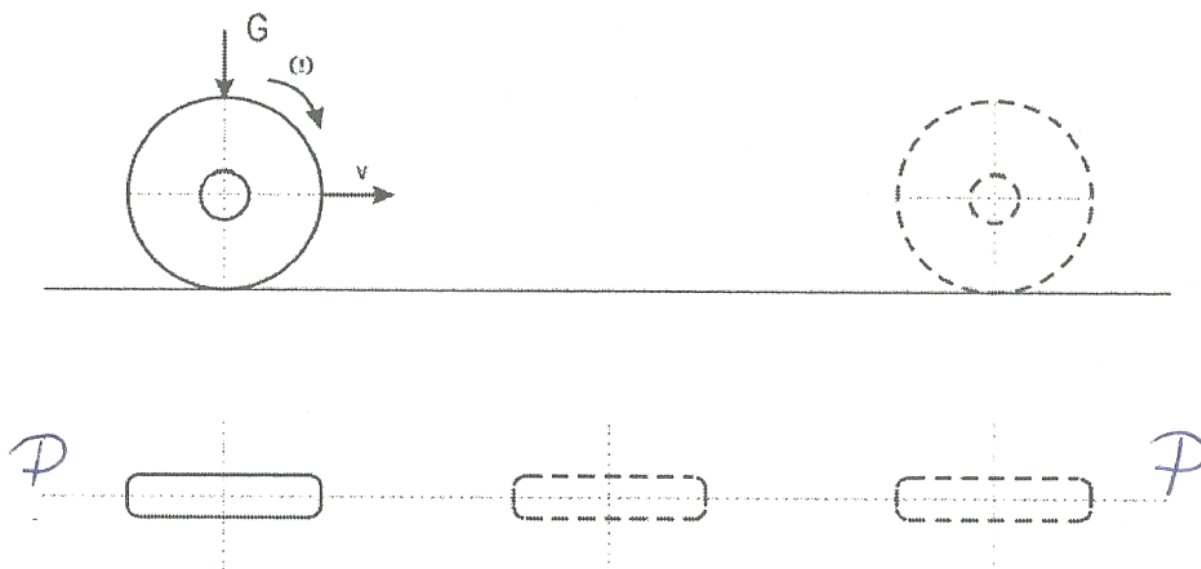
Обзиром да пнеуматик није апсолутно еластичан, нити подлога апсолутно тврда, може се одредити оптимални притисак ваздуха за сваки пнеуматик према подлози, при коме је коефицијент отпора при котрљању најмањи.

5. КОТРЉАЊЕ ТОЧКА УСЛЕД ДЕЈСТВА БОЧНЕ СИЛЕ

Бочно еластичан точак, без икаквих сила која делују на њега, креће се праволинијски. У случају да постоји деловање бочне силе, долази до скретања пнеуматика, слика 18. Ова појава се назива “повођење”.

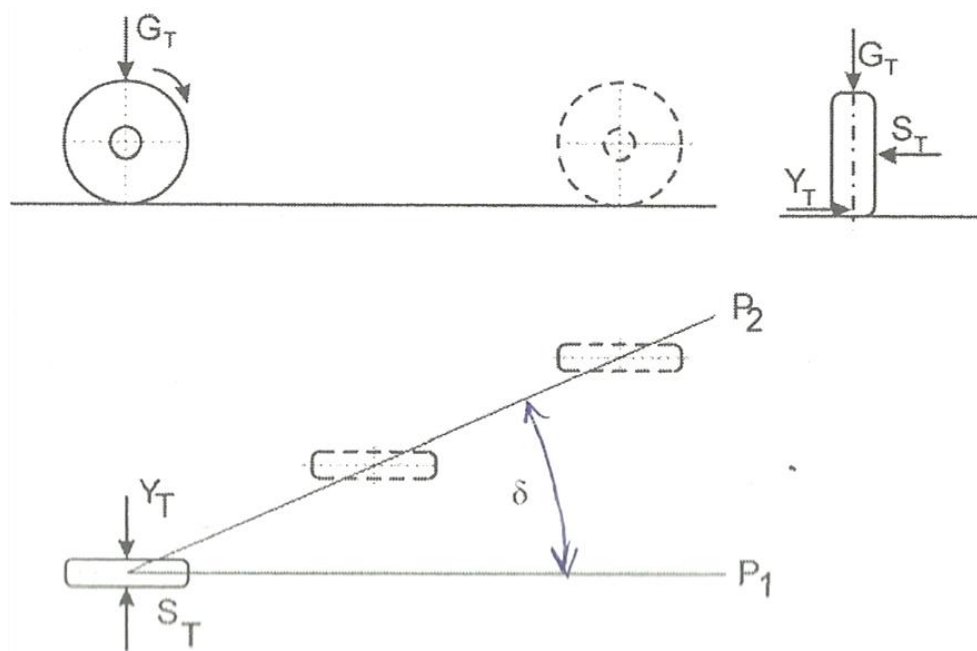
Дејство бочне компоненте на бочно еластичан точак проузрокује бочно скретање точка, то се дешавало код бочно еластичног точка без обзира колико је мала бочна карактеристика.

Када се точак котрља праволинијски, на кога делује радијално оптерећење G_T , траг точка поклапа се са правом, која се добија као пресек подужне равни симетрије точка и хоризонталне равни тла, слика 18.



Слика 18. – Котрљање еластичног точка без дејства бочне силе [1]

Ако на точак поред радијалног оптерећења G_T делује и бочна сила S_T , траг точка ће одступити од свог жељеног правца p_1 , образоваће нови праволинијски траг p_2 , који од првобитног правца заклапа угао δ , приказаној на слици 19.



Слика 19.- Котрљање еластичног точка под дејством бочне силе [1]

Точак се котрља у својој равни без икаквог бочног скретања, под дејством бочне компоненте, док бочна компонента не достигне вредност $G_T \cdot f$. Тада почиње бочно клизање точка.

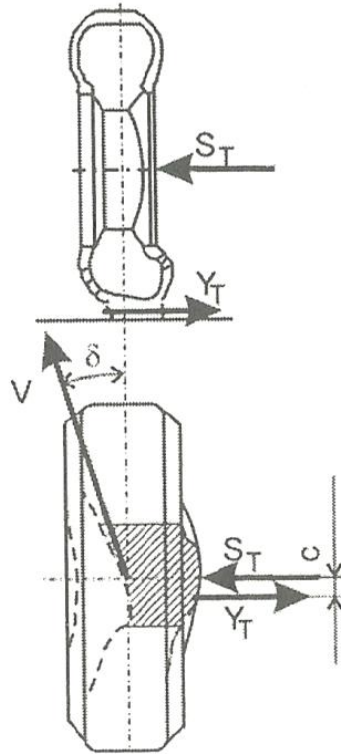
Последица дејства бочне силе S_T , која не делује у центар точка, је померена за величину s , која представља траг повођења је бочна реакција тла Y_T , слика 19. Ако сила Y_T делује у центру точка, добија се моменте $M_S = Y_T \cdot s$, чија је величина, који има супротан смер од градијента угла повођења. Овај момент тежи да се точак врати у првобитан положа, па се назива момент стабилизације.

Приликом котрљања точка у контакт са подлогом, долазе нови слојеви пнеуматика који нису деформисани, услед дејства бочне силе они се релативно померају у односу на раван обртања точка, тј. у правцу дејства бочне реакције тла Y_T . Угао скретања или угао повођења је угао δ између праваца p_1 и p_2 .

Под дејством бочне силе, на скретање бочно еластичног точка утичу бројни фактори:

- величина нормалног оптерећења точка G_T ,
- величина бочне силе F_y ,
- притисак ваздуха у пнеуматику (P) и
- конструктивни параметри пнеуматика.

На слици 20. је приказан бочно еластичан точак који се котрља у назначеном правцу по хоризонталној тврдој подлози. На точак делује вертикално оптерећење G_T и бочна сила S_T , услед чега се појављују реакције Z_T и Y_T тла. У зони контакта са тлом, слој гуме ће се деформисати, услед дејства бочне реакције тла.



Слика 20.- Котрљање точка под дејством бочне силе – ближа дефиниција [1]

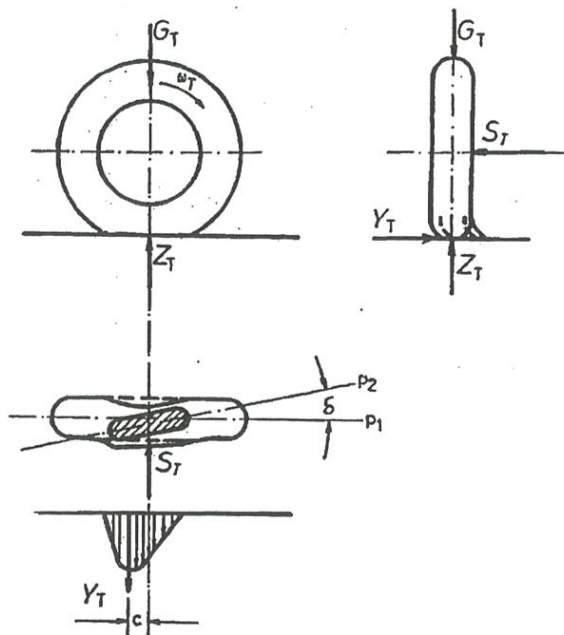
Уколико су нови слојеви пнеуматика више ушли у контакт са тлом, утолико је отисак пнеуматика у тлу више заокружен, тако да резултујућа бочна реакција тла је померена уназад у односу на осу обртања точка, за неку величину “с”, коју називамо траг скретања или траг повођења[3]. Односно слој пнеуматика који није ушо у контакт са тлом, задржава свој првобитан облик, односно не деформише се. У моменту додира пнеуматика са тлом, долази до његовог бочног померања, толико веће, уколико је пнеуматик ближи задњем крају контактне површине. Тежиште дијагоналних елемената бочних реакција тла померено је уназад, тако да резултујућа бочна реакција тла делује иза осе точка. Уколико се притисак и ширина отиска не мења, по целој дужини отисака пнеуматика, је исправно, али овде није тај случај, јер се притисак и ширина отиска пнеуматика мењају по дужини отисака.

Точак ће скренути с правца p_1 и кретаће се правцем p_2 . Бочно скретање је последица присуства бочне силе приликом котрљања, при чему пнеуматици долазе у

додир са тлом и који у односу на точак су померени релативно у смеру дејства резултујуће бочне реакције тла. Точак се приликом котрљања премешта у положај да би остао паралелан самом себи. Брзина точка v_T има правац p_2 .

Да би се боље објаснило скретање, посебно траг скретања, претпоставља се да добош који се не окреће, на коме се налази точак, чија се оса не помера. Полупречник точка је доста мањи, у односу на полупречник добоша. На точак делује радијално оптерећење G_T .

На слици 22, је приказана је дужина отиска точка (l_0), такође на слици је приказана бочна еластичност точка у зони контакта точка са добошем, са великим бројем елементарних опруга константне крутости. Тачка А је контакт са добошем. Ако се добош помери за dr , повући ће тачку А у А'. Услед бочне еластичности пнеуматика, појављује се елементарна бочна сила у тачки А'. Како се добош даље окреће, он са собом носи тачку А даље од равни симетрије точка.



Слика 21.- Котрљање точка под дејством бочне силе [3]

Постоји пропорционална зависност између бочне силе Y_T и угла δ :

$$Y_T \approx k\delta$$

Као што се са слике може видети, да елементарне реакције образују приближно троугао. На растојању "с" иза осе точка, налази се резултујућа реакција тла Y_T . На

расстојању $\frac{2}{3} l_0$ од тачке А, налази се тежиште троугла, па се растојање “с” може израчунати:

$$c \approx \frac{2}{3} l_0 - \frac{1}{2} l_0 = -\frac{1}{6} l_0$$

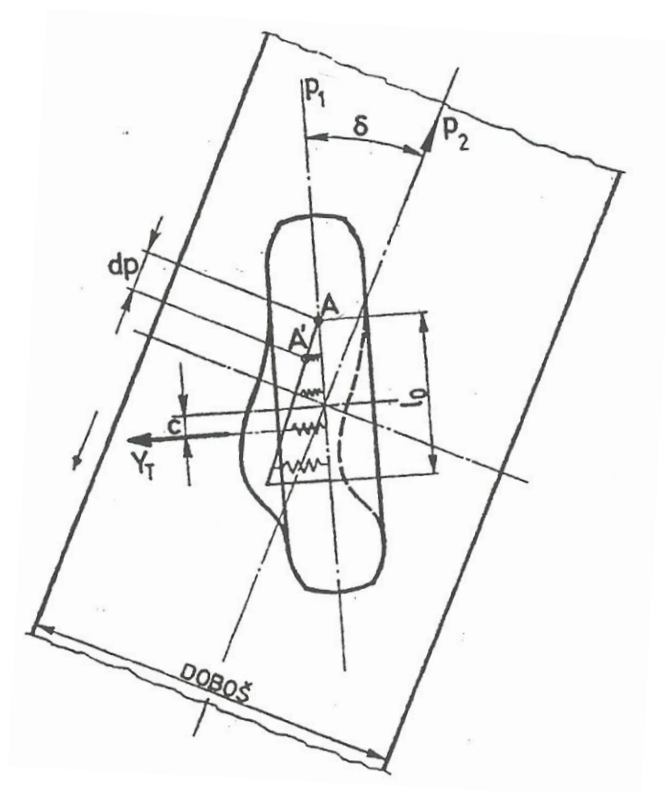
тако се формира момент:

$$M_s = S_T c = Y_T c \quad (6.0)$$

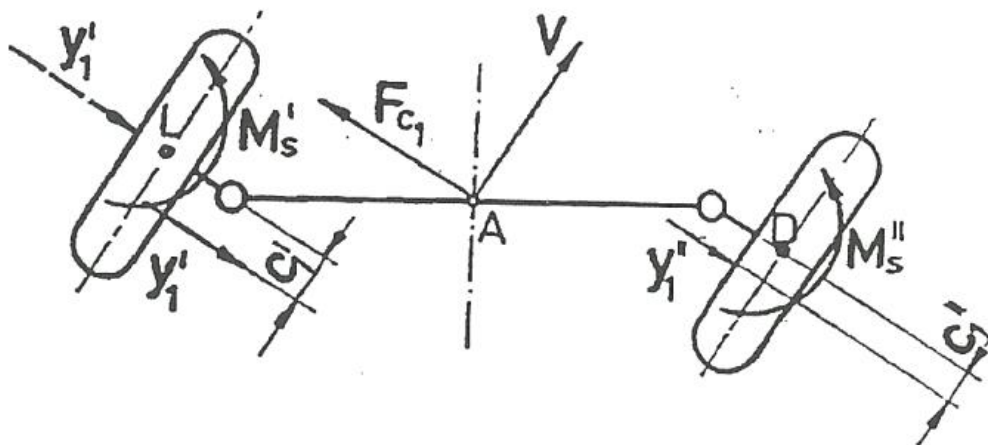
који називамо стабилизациони момент или момент скретања.

Средња раван котрљања тачка у правцу резултујућег тачка, правац p_2 , може се заокренути услед дејства стабилизационог момента.

Компонента центрифугалне силе F_{c1} делује услед заокретања аутомобила, на предњу управљачку осовину. Њој се супростављају реакције тла Y_1 (леви точак) и Y''_1 (десни точак) на растојањима c'_1 и c''_1 иза пројекције тачкова, слика 22 б).



Слика 22 а). - Бочна еластичност тачка у они контакта тачка са добошем
[3]



Слика 22. б) – Заокретање аутомобила [3]

Услед редукције силе реакције тла у тачкама L и D , појављују се спрегови сила – моменти:

$$M'_s = c'_1 Y'_1, \quad M''_s = c''_1 Y''_1$$

У оваквим случајевим постоје симетрије између левих и десних точкова једне осовине, у погледу оптерећења, и у погледу релативних конструктивних параметра вешања леве и десне стране. При томе:

$$M_s = c_1 Y_1 = c_1 S_1 \quad (6.1)$$

где је:

$$c_1 = c'_1 \approx c''_1, \quad Y_1 = Y'_1 + Y''_1.$$

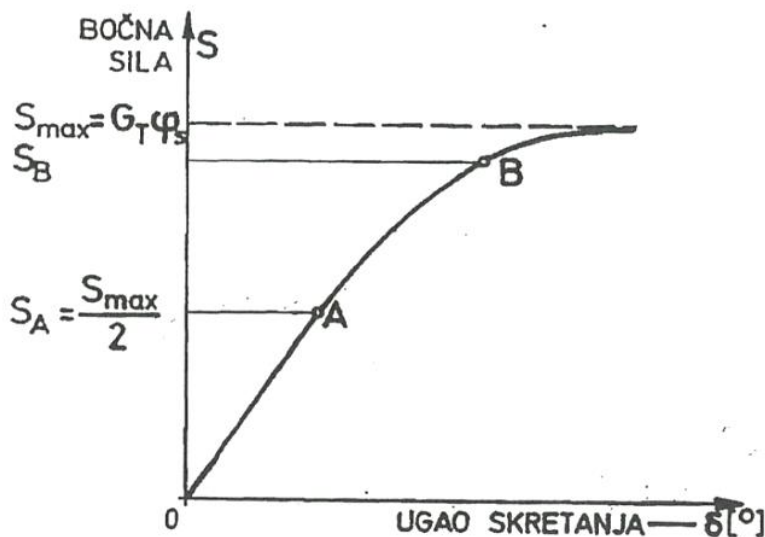
Да исправе заокренуте точкове, тежи момент M_s , тј. моменти M'_s и M''_s , да их врате у неутралан положај. Фактори који повећавају полупречник кривине, називају се стабилизациони фактори, а фактори који смањују полупречник кривине, назива се дестабилизациони фактор.

Повећање бочне силе, угао скретања директно је пропорционалан повећању до одређене вредности бочне силе, слика 23.

$$Y_T = S = k\delta \quad (6.2)$$

при томе је: k – коефицијент скретања (коефицијент отпора при скретању) $[\frac{N}{rad}]$.

Овај коефицијент показује којом бочном силом треба деловати на точак да би извршио скретање точка за један радијан.

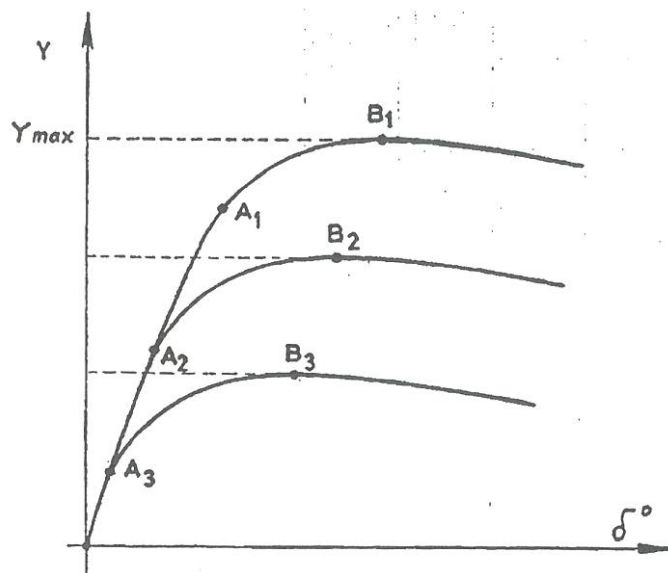


Слика 23- Зависност угла скретања од бочне силе [3]

Из израза (1.44) се може видети вредност бочне силе које су мање или приближно једнаке сили $\frac{S_{max}}{2}$ (тачка А на дијаграму). Између тачака А и В на кривој $S = f(\delta)$, уколико су мања повећања бочне силе, смањиваће се углови скретања, у односу на део криве ОА. То значи да је наступило и делимично бочно клизање точка. Ако је бочна сила већа од S_B , имаћемо чисто бочно клизање. Максимална бочна сила у овом случају је $S_{max} \approx G_T \varphi_s$, где је φ_s – коефицијент при бочном клизању, или коефицијент пријањања бочне силе.

Код углова $\delta \leq 6^\circ$, постоји линеарна зависност бочне силе и углова скретања.

Угао скретања нагло расте при даљем повећању бочне силе, што је знак да је наступило делимично клизање. Потпуно клизање почиње у тачки V_1 . На слици 24, се може видети три криве за различите коефицијенте пријањања $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Бочна сила достиже вредност φZ_T у моменту потпуног клизања.



Слика 24- Зависност између бочне силе и угла скретања [3]

Бочно клизање је однос бочне компоненте брзине V_y , према компоненти транслаторне брзине, дуж подужне x - осе возила.

$$S_s = \frac{V_y}{V_x} = \tan \theta \quad (6.3)$$

При чистој бочној деформацији пнеуматика, угао θ скретања једнак је углу δ , за мале углове скретања.

Угао θ назива се бочни угао скретања или угао бочног клизања.

Праволинијски део криве OA_1 дефинише зависност:

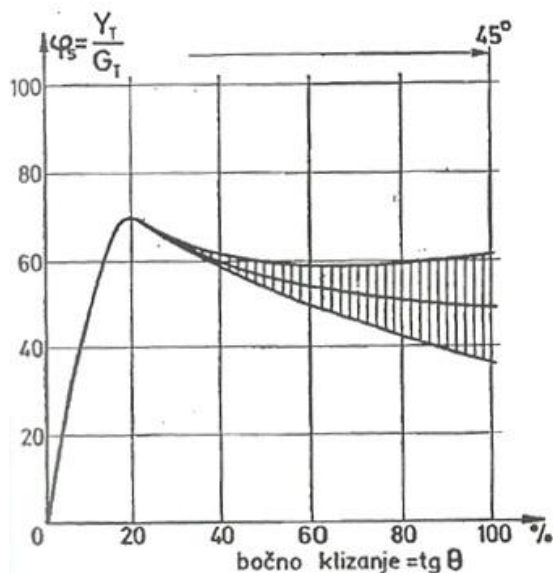
$$Y_T = F_y = k_s \delta$$

Брзина бочног померања, може се написати:

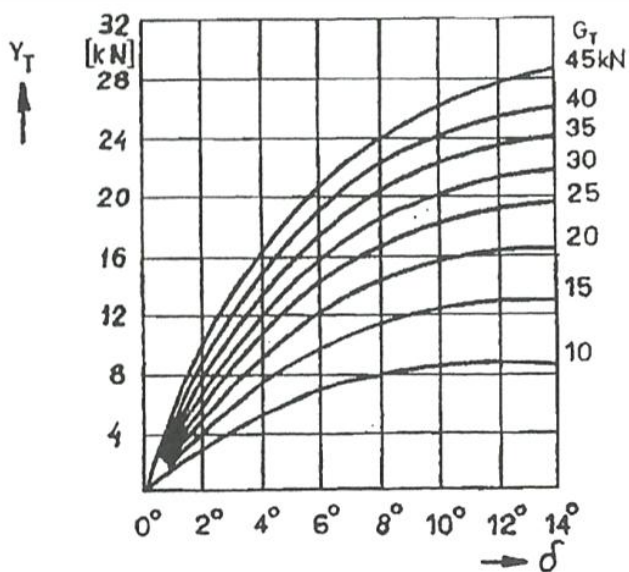
$$V_y = V_\delta = V \cdot \tan \delta \approx V \delta \quad (6.4)$$

Случај бочног клизања је појава скретања, које настаје услед бочних еластичних деформација пнеуматика.

Однос $\frac{Y_T}{G_T}$ је дат на слици 25 у процентима у функцији од угла скретања, тј. од $\tan \delta$ [%]. Однос $\frac{Y_T}{G_T}$ дефинише бочни коефицијент пријањања $\varphi_y \approx \varphi$. [3]



Слика 25.- Зависност $\frac{Y_T}{G_T}$ [%] од $\tan \delta = \tan \delta$ [%] [3]



Слика 26.- Зависност бочне реакције Y_T од угла скретања δ и радијалног оптерећења точка G_T [3]

Зависност реакције Y_T од угла скретања δ је дат на слици 26, као и радијалног оптерећење точка G_T .

На основу неких експеримената, максимална бочна сила услед повођења пнеуматика зависи од услова пријањања, дата је изразом [1]:

$$Y_{Tmax} = \varphi Z_T. \quad (6.7)$$

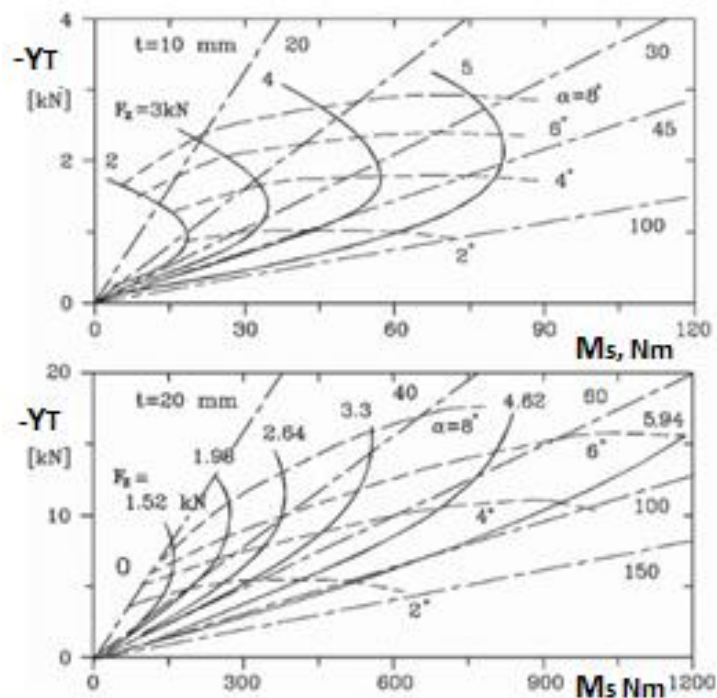
Ако постоји и тангенцијална реакција тла X_T , максимална бочна сила је:

$$Y_{Tmax} = \sqrt{\varphi^2 Z_T^2 - X_T^2} \quad (6.8)$$

6. БОЧНА КАРАКТЕРИСТИКА ПНЕУМАТИКА

Данас не постоје по поуздани математички поступци који би омогућили израчунавање бочне силе и момента стабилизације, још у фази пројектовања пнеуматика. Због тога се поуздане бочне карактеристике одређују испитивањима на пробним столовима (са добошем или бесконачном траком) и резултати се најчешће приказују дијаграмски, у облику комплексне бочне карактеристике. [1]

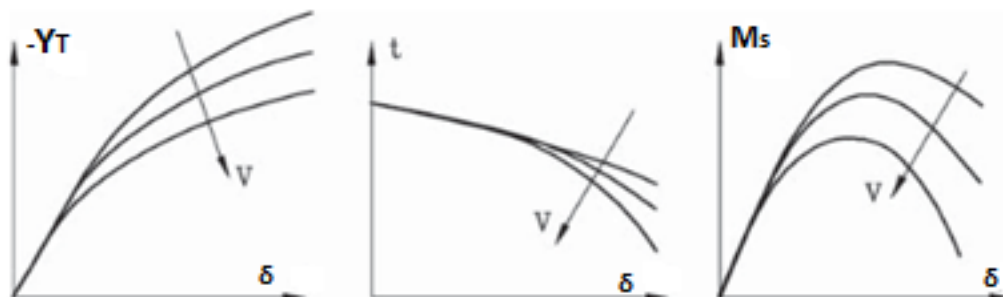
Комплексан бочна карактеристика једног пнеуматика је тзв. Гофов дијаграм. Карактеристика је добијена у стационарним условима, при $\delta = \text{const}$, $V = \text{const}$, $G_T = \text{const}$), и она представља стационарну бочну карактеристику.



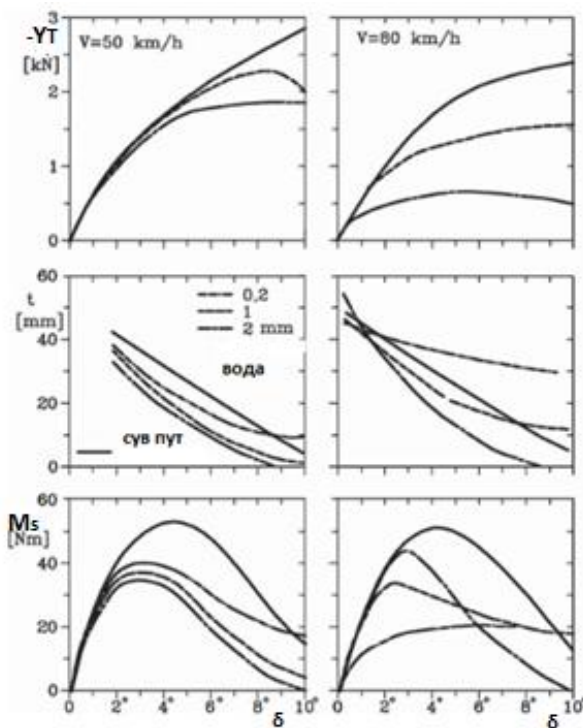
Слика 27 – Гофов дијаграм (а) Радијални пнеуматици 145 R 16; $p=180\text{kPa}$, $V=50\frac{\text{km}}{\text{h}}$; попречни слојеви пнеуматика за индустријска возила 300 20, $p=675\text{kPa}$. [5]

Са повећањем брзине, сила Y_T (δ) се смањује, пре свега у области која одговара вредностима угла клизања. Линеарни део остаје непромењен, као на слици 27. Исто тако траг котрљања пнеуматика (c) се смањује са повећањем брзине, самим тим и момент показује значајан пад у односу на бочну силу.

Вочна сила Y_T и момент M_s , опадају са повећањем брзине кретања, што је нарочито изражено по клизавом путу, на слици 29. где се могу приказати две различите брзине по сувом и влажном путу. [5]



Слика 28- Квалитативне криве $Y_T(\delta)$, $M_T(\delta)$ и $s(\delta)$ при различитим брзинама [5].

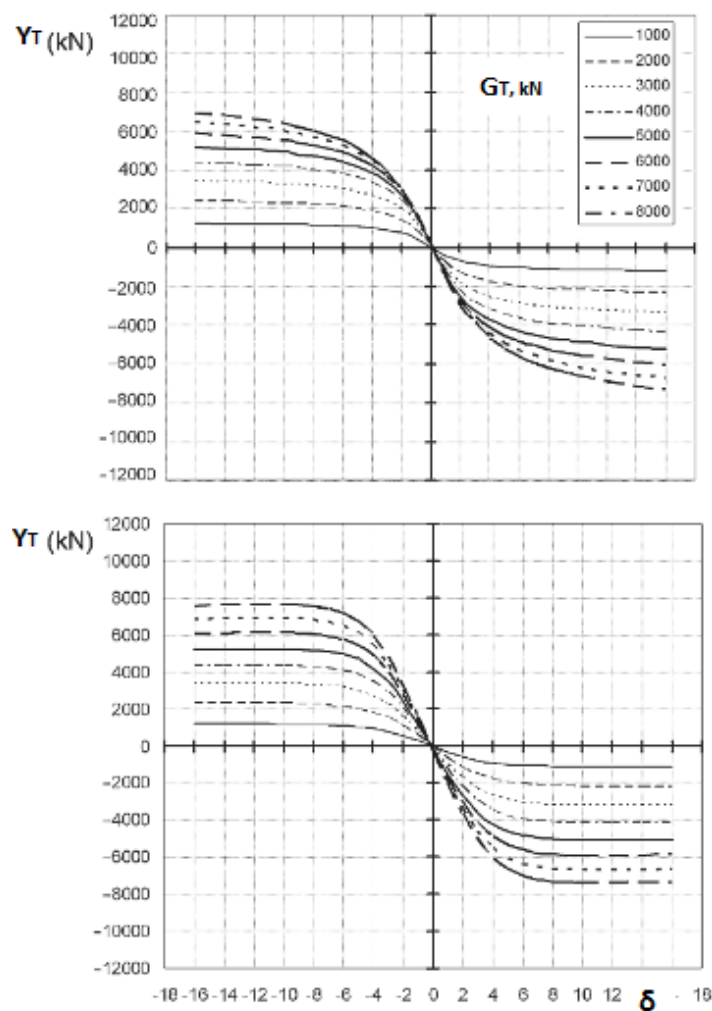


Слика 29- Криве $Y_T(\delta)$, $M_s(\delta)$ и $s(\delta)$ за различите брзине (50 и $80 \frac{km}{h}$) по сувом и влажном путу. Пнеуматик 155 R 15, $F_z=3 \text{ kN}$, $p=150 \text{ kPa}$. [5]

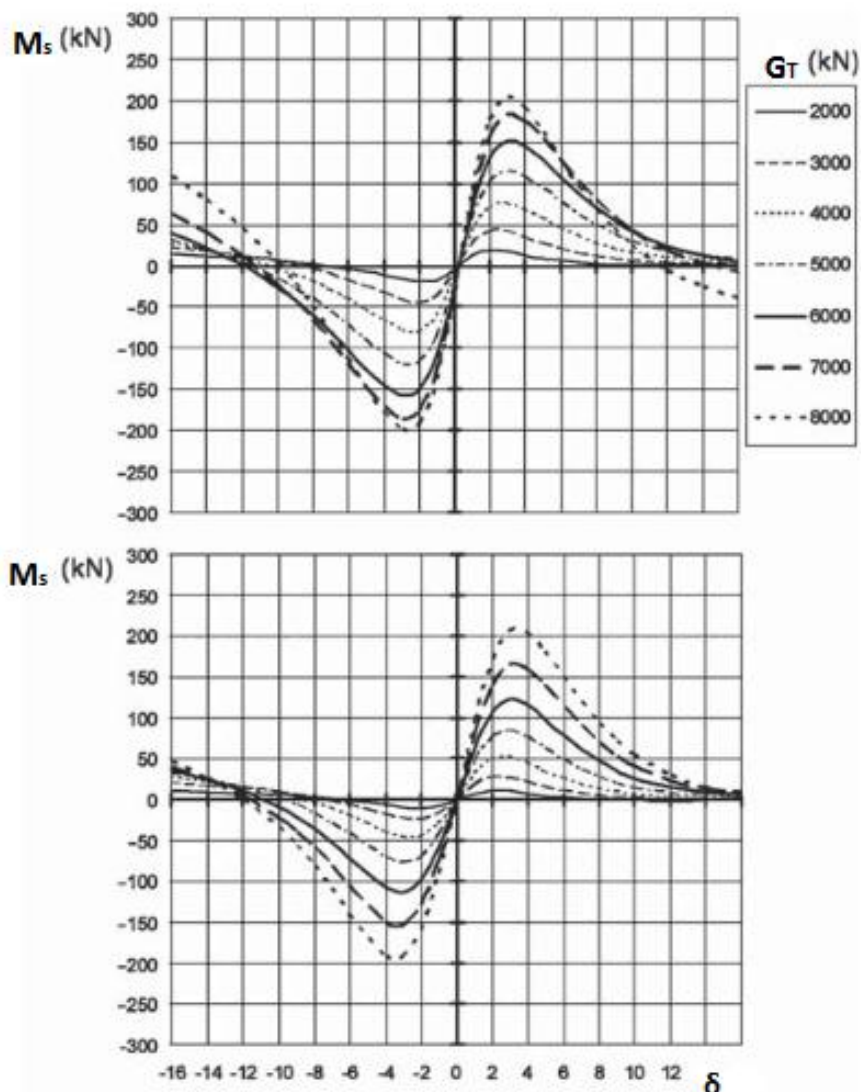
Повећање ширине пнеуматика у комбинацији са различитим односима утиче на бочну крутост. Крући пнеуматици, могу да пренесу већу бочну силу за исти угао скретања.

Код хидродинамичких аквапланинга иста разматрања која се могу видети код подужних сила, важе и код бочних Y_T . Смањење момента стабилизације који се смањује са смањењем бочне силе, треба да упозори возача да ће уследити губитак вуче. Лоше пројектован пнеуматик може да одржи јак момент стабилизације чак и у условима смањене попречне вуче.

На слици 30 је приказан тепих заплета са бочним силама, сок је на слици 31. приказан заплет момента стабилизације.



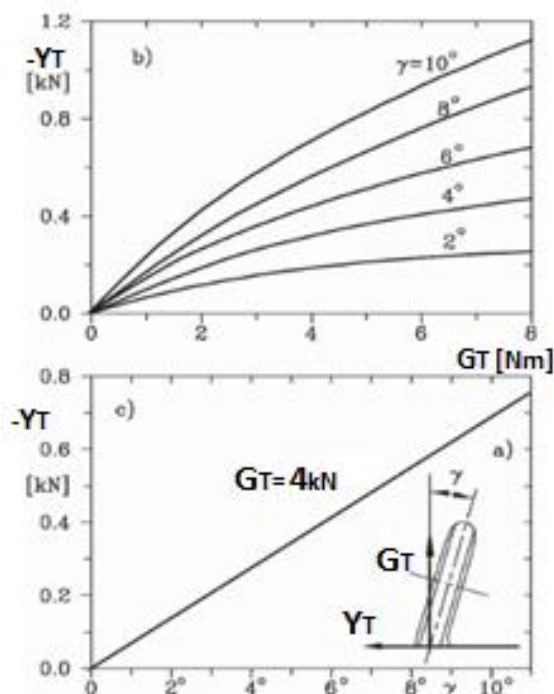
Слика 31. – Дијаграм бочних сила за два пнеуматика истог пречника. Као параметар се користи вертикално оптерећење [5]



Слика 32. – Дијаграми момента стабилизације за два различита пнеуматика.
Као параметар користи се вертикаално оптерећење [5]

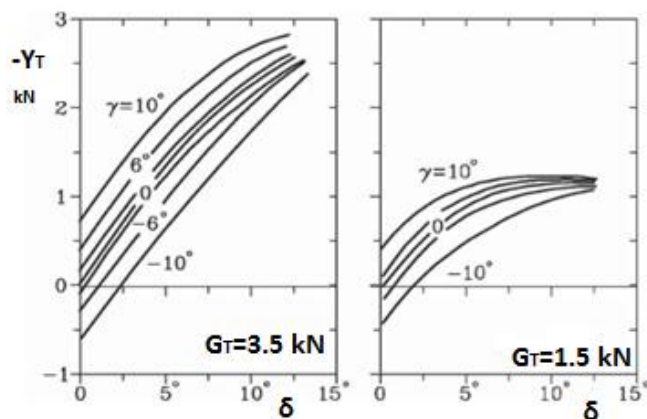
Ако постоји нагиб, бочне силе изазивају клизање. Ово се обично назива угао нагиба, за разлику од сила при скретању, која је сама због угла клизања. Сила нагиба је обично много мања од силе при скретању, барем у једнаким вредностима углова δ и γ . То зависи од оптерећења G_T , што је готово линеаран с њим, (слика 33.) и зависи од пнеуматика који се разматра.

Улегнуће се обично јавља у тачки испред контактне зоне, производећи мали момент M_{sy} али се занемарује због малих вредности. Дијагонални пнеуматици производе већи потисак и момент, него радијални. [5]

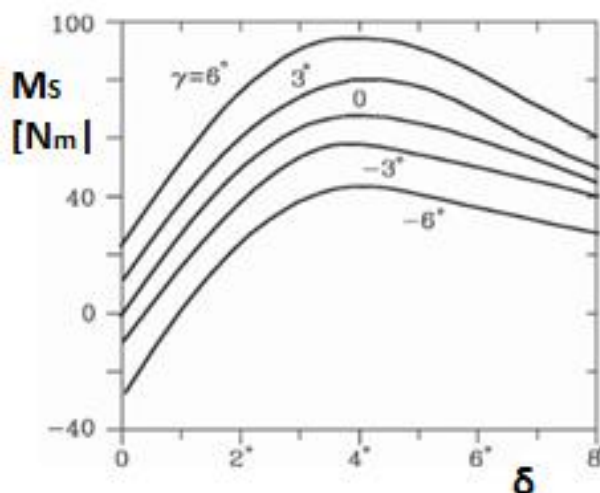


Слика 33- (а) Шема: Y_T је негативна и усмерена је супротно од приказаног.
Сила нагиба у функцији вертикалног оптерећења (б) и угла нагиба (с).
Пнеуматик 165 13, $p=200\text{kPa}$. [5]

И клизање и нагиб су присутни најчешће. Као на пример, утицај нагиба на силу клизања за две различите вредности оптерећења, приказани су на слици 34. Потисак је уочљив код малих углова скретања, него код већих, посебно када је точак под мањим оптерећењем. Момент стабилизације настао комбинованим дејством клизања и нагиба, за радијалне пнеуматике, приказан је на слици 35. [5]

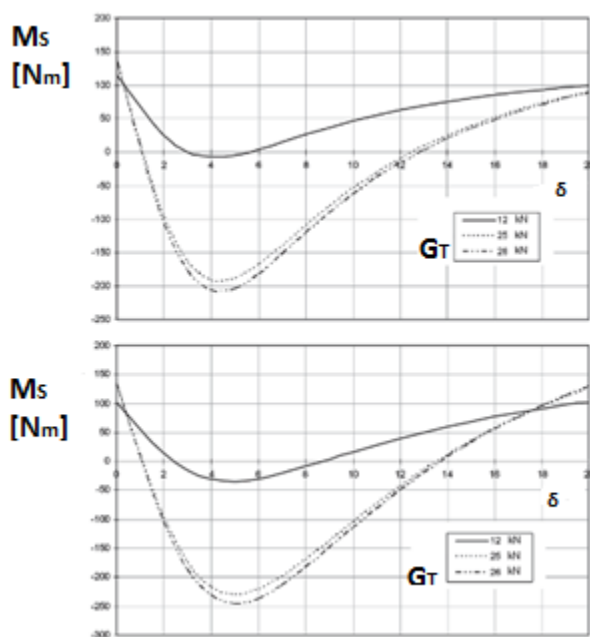


Слика 34 Утицај угла бочног нагиба точка на бочну силу [5]



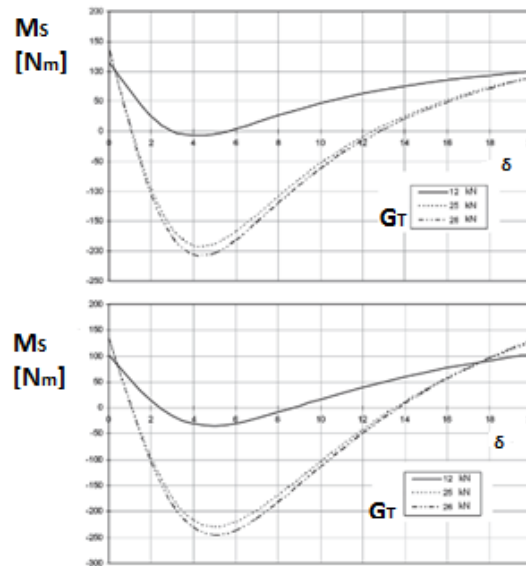
Слика 35- Утицај угла бочног нагиба точка на момент стабилизације [5]

У теорији бочни угао и угао нагиба треба да буде једнак нули, при скретању, и момент треба да буде једнак нули. Ово у пракси не важи увек, што је и приказано на сликама 36 и 37.



Слика 36- Дијаграми сила при скретању у функцији угла клизања, за два индустријска возила, пнеуматици 315/80 R 22,5, чврсти имају ојачан појас за управљање точкова (један точак), док је други за погонске точкове.

Параметар је вертикална сила. [5]



Слика 37- Дијаграм момента стабилизације у функцији угла клизања за индустријска возила, пнеуматик 315/80 R 22,5. [5]

Центар хистерезиса није у тачкама у којој су оба угла и силе једнаке нули. Због недостатка геометријске симетрије, пнеуматик ради у условима што производи бочна сила.

Коничност ефекат бочне силе представља компоненту бочне силе при којој се мења правац котрљања пнеуматика при промени смера ротације. Коничност је узрокована недостатком прецизности током процеса производње и стога је повезана са контролом квалитета производње, његов правац је случајан, а његова вредност се мења од пнеуматика до пнеуматика истог модела. Коничност је различита, ако се промени смер кретања. Коничност представља меру геометријске неуниформисаности пнеуматика

Неуниформисаност пнеуматика која се огледа у неравномерности положаја слојева пнеуматика у литератури је познат као угаони ефекат. То је компонента бочне силе при којој се мења правац кретања пнеуматика при промени смера котрљања. Ако се точак окреће под утицајем угаоног ефекта долази до котрљања дуж праве линије под одређеним углом у односу на осу симетрије; Ако се точак котрља без повођења, под дејством бочне. Ако се пнеуматик креће заједно са наплатком, правац силе због угаоног ефекта није обрнут. Као што при пројектовању пнеуматика утичу бројни фактори, овај утицај, за разлику од коничности је веома конзистентан између пнеуматика истих модела.

Док коничности пнеуматика могу бити укључени у моделе пнеуматика на нивоу статике. Ефекат неравномерности слојева настао је као последица непрецизности израде. Ови ефекти су обично сметња, супротност ефекта точкова дате осовине могу се

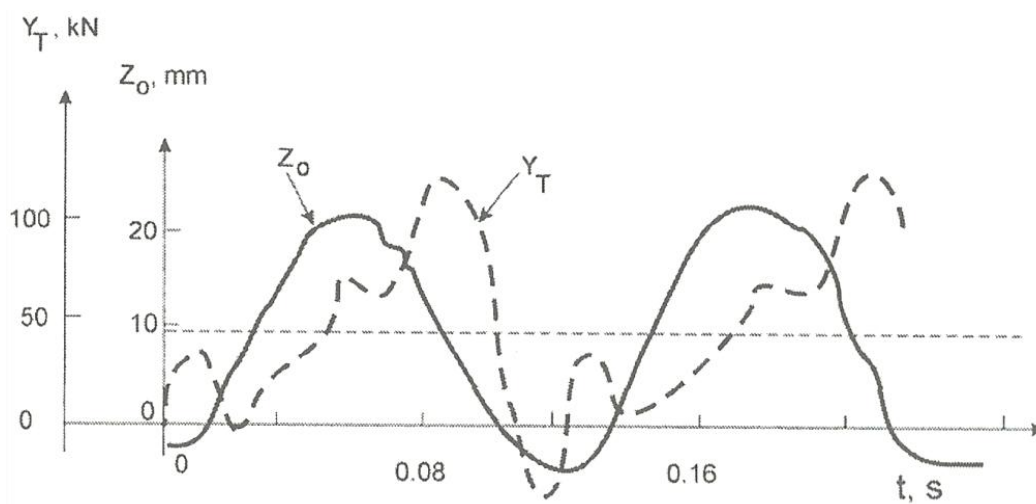
користити као замена за конвергенцију, док се овај други повећава, отпор котрљању првог нема ефекат на њу.

Померање бочне силе дели се на: део код којег се не мења знак када је смер ротације обрнут, то ефекат силе, а други део код којег се мења знак и за њега се каже да је коничност сила.

Као што је већ речено, за мале вредности угла клизања при скретању сила повећава се линеарно са δ . [5]

$$Y_T = C_\alpha \delta \quad (8.0)$$

На слици 38, приказано је испитивање пнеуматика у нестационарним условима, уз променљиве δ и Z_T . Дат је приказ нестационарне бочне силе једног пнеуматика при промени радијалне реакције тла, по синусном закону. Према слици, бочна сила се разликује у великој мери од оне која је добијена у стационарним условима. Нестационарне бочне карактеристике су веома значајне за динамичке карактеристике моторних возила.



Слика 38 – Пример за нестационарну бочну карактеристику пнеуматика [1]

7. УТИЦАЈ БОЧНОГ НАГИБА ТОЧКА НА БОЧНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПНЕУМАТИКА

Точкови возила постављају се под углом у односу на верикалну раван γ – угао нагиба точка. , слика 39а и граде угао конвергенције у хоризонталној равни, k слика 39б, са одговарајућим циљем да се постигне одговарајући притисак у лежишту точка и да се смањи траг скретања, r_o .

Код путничких возила угао нагиба точка има вредност између $\frac{1}{2}$ и 1° , а угао конвергенције је $10'$ до $20'$. Угао бочног нагиба изазива појаву бочне силе у зони контакта са тлом. Повећање угла нагиба точкова смањује се бочна сила за исти угао скретања управљачких точкова и возило се понаша као недовољно заокренуто. Услед заокретања возила и додатног оптерећења спољашњих точкова мења се симетрија бочних реакција тла спољашњег и унутршњег точка. Испитивања су показала да то доводи до промена бочних карактеристика пнеуматика. [1]

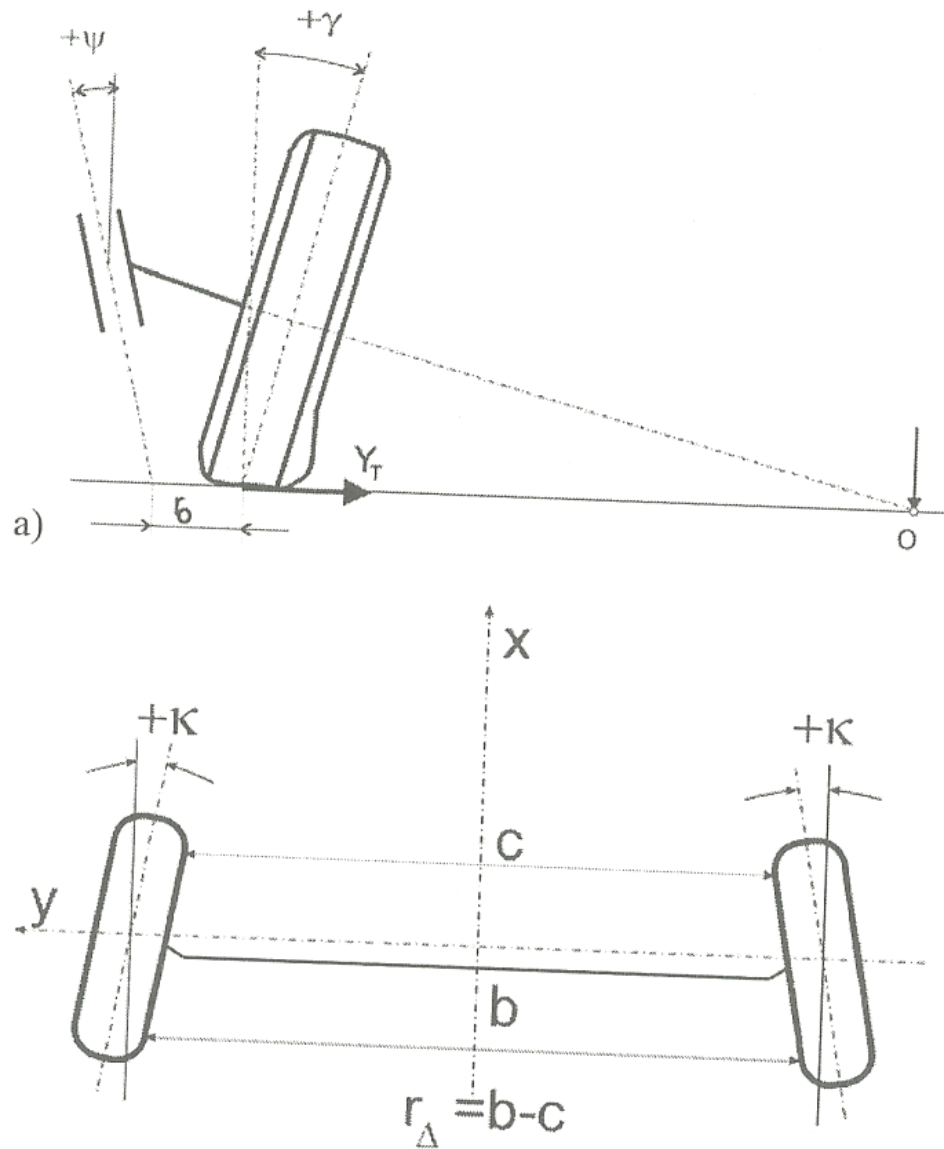
За мале бочне углове нагиба точка важе [1]:

$$Y_T = k\delta - k_y \gamma, \quad (8.1)$$

$$M_s = k r_o \delta + k_s \gamma$$

где је:

- γ - угао бочног нагиба точка,
- k_y и k_s - коефицијенти пропорционалности између угла нагиба и бочне силе и момента стабилизације,
- δ - угао повођења,
- r_o - траг скретања и
- k - коефицијент пропорционалности угла повођења.



Слика 39 а)- Бочни нагиб точка, б) Конвергенција

8. ЗАКЉУЧАК

Пнеуматици су једини део возила који је у директној вези за подлогом по којој се крећу. Пнеуматици утичу на безбедност саобраћаја, поред тога захваљујући пнеуматикама ублажава се додир при кретању возила. Коефицијент оптерећења пнеуматика представља максималну дозвољену носивост сваког појединог пнеуматика на моторном возилу. Претерана тежина може да угрози безбедност свих учесника у саобраћају. Пнеуматици утичу на понашање управљивост, комфора у вожњи и најважнија карактеристика је сигурност на сувом и влажном коловозу.

У овом раду је детаљно описана бочна карактеристика пнеуматика са дијаграмима који описују утицај свих сила која делују на управљивост и стабилност возила.

При испитивању пнеуматика, њихове заступљености, употребе и ефикасности, долази се до закључка да се пнеуматик треба бирати тако да одговара возилу за који је намењено. Тачније, да буде одговарајуће димензије, да поседује карактеристике које најбоље одговарају путевима по којима се крећу возила, тј. временским условима у којима се користе пнеуматици.

Мора се водити рачуна и о економичности, тако да јеотпор при котрљању мањи, тада је мања енергија и самим тим и потршња горива је смањена.

При утицају бочне силе, тј. њене компоненте на точак настаје неравномерност положаја слојева пнеуматика, познато као неуниформисаност пнеуматика при котрљању. Треба водити рачуна и о параметрима који описују неуниформисаност пнеуматика.

Такође, и притисак у пнеуматикама утиче на коефицијент отпора котрљању. Стога треба водити рачуна о притиску, јер при повећаном притиску код меке подлоге долази до укопавања точка. Са смањењем притиска ваздуха код меке подлоге, мање се укопава точак, смањује се отпор подлоге, али се услед веће деформације пнеуматика, повећава хистерезис, док код тврде подлоге пад притиска ваздуха повећава деформације пнеуматика, па и коефицијент отпора при котрљању.

Повећање оптерећења не само да повећава максималне могуће бочне силе, такође и потискује максималне бочне силе на већим условима клизања.

Коефицијент отпора котрљању нагло расте у зависности од брзине кретања и притиска у пнеуматику. Котрљање точка са повећаним брзинама прати већи број појава које проузрокују повећање коефицијента отпора при котрљању. Све ове појаве доводе до већих деформација у предњем делу пнеуматика у зони контакта са подлогом, тј. до мањих деформација у задњем делу пнеуматика.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Демић М., Лукић Ј. : Теорија кретања моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [2] Филиповић И. : Мотори и моторна возила, Машински факултет Универзитета у Тузли, Тузла, 2006.
- [3] Симић Д.: Моторна возила, Машински факултет у Крагујевцу, 1988
- [4] Стефановић А. : Друмаска возила – основи конструкције – Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета у Нишу и Центар за безбедност Машинског факултета у Крагујевцу, 2010.
- [5] Genta G., Morello M.: The automotive chassis – Componentes Design, Mechanical Engineering, Sprining ,2009.