

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Моторна возила 1

Број индекса: 5/2010

Иван Б. Танасијевић

Точкови путничких моторних возила

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

Опише и анализира:

- развој точкова путничких возила,
- карактеристична конструктивна решења,
- преглед и упоредну анализу карактеристика пнеуматика бар два водећа светска произвођача

Препоручена литература:

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

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

Крагујевац, 21.11.2013.

ментор:

Др Јованка Лукић, проф.

Резиме

Точак је најтипичнији елемент и симбол друмског моторног возила. Проналазак точка спада у велике проналаске човечанства и десио се пре отприлике 4000. година. Точак омогућава ротационо кретање и при томе смањује трење. Механика кретања аутомобила се заснива на котрању точка. Котрљање точка без утицаја бочне силе се врши у равни точка, а карактер самог кретања зависи од карактера сила које делују на точак. До бочног скретања пнеуматика долази долази у случају постојања бочне силе. Точак моторног возила представља извор осцилаторних модела у динамичком смислу. Од ексцентричности, неуравнотежености точкова и неуниформисаности пнеуматика потичу најважније побуде. У раду је поред свега овога дат и приказ упоредне анализе два водећа светска произвођача пнеуматика. Њихове иновативне технологије и у свим условима вожње омогућена лакша и безбеднија вожња путничких возила.

Кључне речи: точак, динамика возила

Abstract

The wheel is a symbol of the most typical element of road motor vehicles. Finding a spot in one of the great inventions of mankind and occurred before approximately 4,000. years. The wheel allows rotational movement and thereby reduce friction. Mechanical movement of a car is based on roll point. The rolling wheel without affecting lateral force is performed at the level point, and the character of the movement depends on the character of the forces acting on the wheel. By the turn side tire comes out of the case of lateral forces. The wheel of the vehicle is the source of vibration models in a dynamic sense. Since eccentricity imbalances wheels and tires come anuniformity most important motives. In this paper, all this gives overview of the comparative analysis of two leading global tire manufacturer. Their innovative technology and in all conditions enables easier and safer driving passenger vehicles.

Key words: wheel, vehicle dynamics

САДРЖАЈ

1. УВОД	4
2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ ТОЧКА.....	5
3. ТОЧКОВИ МОТОРНИХ ВОЗИЛА	8
3.1. Котрљање точка	16
3.2. Општи случај котрљања точка без утицаја бочне силе.....	23
3.3. Котрљање точка под дејством бочне силе.....	25
3.4. Површинско клизање.....	29
4. ОСЦИЛАТОРНЕ ПОБУДЕ ОД ТОЧКОВА.....	32
4.1. Ексцентричност точка	32
4.2. Неуравнотеженост точкова	32
5. РАСПОДЕЛА ТЕЖИНЕ ВОЗИЛА СА 4 ТОЧКА	33
6. ПРЕГЛЕД И УПОРЕДНА АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИКА ПНЕУМАТИКА ДВА ВОДЕЋА СВЕТСКА ПРОИЗВОЂАЧА.....	35
6.1. Dunlop – ове технологије у аутомобилским пнеуматичима	35
6.2. Goodyear пнеуматици	40
6.3. Упоредна анализа пнеуматика и њихове предности и недостаци	44
7. ЗАКЉУЧАК	47
8. ЛИТЕРАТУРА	48

1. УВОД

Данашњи степен развоја моторних возила карактерише се производњом врло широког спектра различитих врста, типова и категорија возила. Савремена возила карактеришу се великом сложености механизма, који се налазе на њима.

Појам „квалитет“ возила укључује читав низ карактеристика, које представљају мерило за оцену возила. Независно од намене и конструктивног извођења код моторних возила се разликују следећи главни системи:

- мотор са унутрашњим сагоревањем,
- механизам за пренос снаге (трансмисија) која се састоји од: спојнице, мењача, кардана,
- главног преноса, диференцијала и полуосовина,
- носећа конструкција (рам или шасија) или самоносећа конструкција,
- систем точкова.

Под појмом „точак возила“ подразумева се склоп наплата точка и пнеуматика. Улога пнеуматика је веома комплексна. Од пнеуматика зависи врста пријањања за подлогу. Пнеуматици се праве од еластичног материјала. Еластичност је особина материјала да се после деформације врати у првобитан облик, за разлику од пластичности која је одлика задржавања облика након деловања сила. Дакле, пнеуматик има одлику да се деформише у додиру са подлогом, али да се врати у првобитно стање. Посебна технологија израде пнеуматика посебно оних израђених за трке, користи одређене смеше које имају најбоље пријањање управо када се загреју. Што су пнеуматици топлији то им треба дуже времена да се врате у првобитно стање.

[1]

2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ ТОЧКА

Побољшање форме камена, напредак форме дрвета је точак. Пренос камених вишетонских блокова обављао се наизменичним подбацивањем дрвених облика под блокове, по којима се котрљао. Једним од важнијих достигнућа у развоју људске цивилизације се сматра проналазак точка. Многи истраживачи тврде да се појавио у 5. миленијуму п. н. е. и да је везан за откриће грнчарског точка односно грнчарског кола. Прва практична примена точка су свакако грнчарско коло и точкови којима се померају и преносе терети и људи, док временом примена точкова постаје вишенаменска. [1]

Точак је компактни механички уређај, облика диска, близак кругу (сл.1) Врши трансмисију ротационих кретања, а и својим ротационим кретањем смањује трење. Комбинацијама система посебно повезаних точкова различитих и истих пречника могу се производити веће излазне ротационе брзине, као и веће излазне силе. Од различитих врста материјала могу бити направљени точкови.

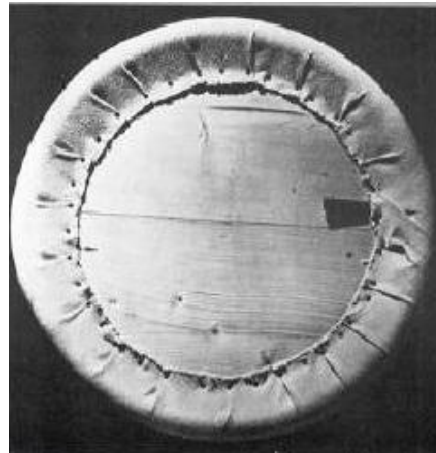
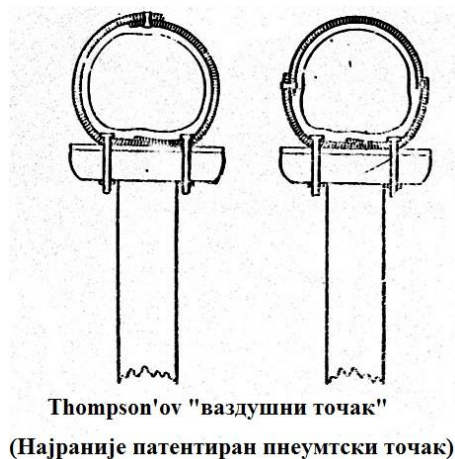
Могу бити ужлебљени, прекривени гумом, зупчасти, зависно од намене и сходно употреби имају и различите називе. У латинском језику се користи реч „*Rota*“ па одатле речи ротор, ротација и ротирање.



Слика 1 – Точак [1]

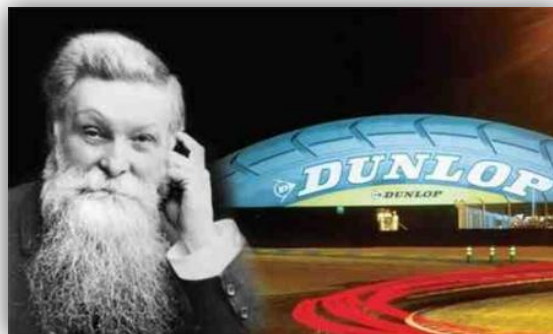
Паралелно са развојем мотора за погон возила од великог значаја за развој аутомобила су и покушаји коришћења пнеуматика. Године 1845. је Thompson R.W. у Енглеској патентирао точак за кочије испуњен ваздухом, под називом „ваздушни точак“ (слика 2).

Али, пошто дуго није ништа рађено на примени тог патента, први функционални модел точка са пнеуматиком је реализовао шкотски ветеринар J.B. Dunlop (слика 3), стављајући на трицикл свога сина црево ојачано платном. Dunlop, игноришући патент Thompson-а патентира 1888. године свој проналазак који доживљава велики успех на бициклима. То је омогућило одговарајуће пригушење динамичких удара аутомобила на подлогу и управљање аутомобила. Основао је и пословно друштво за израду пнеуматских гума. Према њему је основана фирма Dunlop Rubber Company Ltd. која је средином 20. века постала најпознатија фабрика за производњу тениских лоптица.



Слика 2 – Први патент пнеуматских точкова [2]

Пнеуматик са посебном унутрашњом гумом је изведен 1891. године, а од стране браће Е. и А. Мислена је 1895. године урађено прво моторно возило са пнеуматичима и то за потребе ауто трка Париз – Бордо – ах. [1]



Слика 3 - John Boyd Dunlop, шкотски ветеринар и изумитељ [2]

Компанија *Palmer Tyre* из *Detroit* направила је 1915. године прву дијагоналну гуму. Назив је добила због своје унутрашње конструкције јер се нити појединих слојева тканине укрштају косо, дијагонално. До 1937. године експериментисање и потрага за јачим материјалима није престала. Тек тада су се за унутрашњу конструкцију почеле користити челичне жице и то за камионске пнеуматике.

Прва радијална гума направљена је 1947. године. Представљала је револуцију за индустрију транспорта и главни изум у гумарској технологији још од *Dunlop*-овог пнеуматика. Као што јој име каже, радијална гума конструисана је тако да се нити слажу попречно, што значи у смеру радијуса пнеуматика. Имају назив и појас, због појаса који је на ободу уграђен под газећим слојем.

Развој ауто-индустрије изузетно је убрзан развојем аутомобилских пнеуматика. Током двадесетог века активно се радило на проналажењу монтажно-демонтажних гума, двосмерног вентила, постојали су покушаји да се уведу нови материјали али се радило и на радијалној конструкцији Тубелес пнеуматика (енгл. *Tubeless tires*). Тубелес пнеуматици су врста ваздухом пуњених гума код којих не постоји унутрашња, већ само спољашња гума. Користе се на разним врстама возила, и имају разне предности у односу на раније пнеуматике код којих је унутрашња гума неопходна. Услов за монтажу тубелес пнеуматика је и одговарајућа фелна. [2]

Поред пнеуматика, као саставног дела точка, постављају се следећи захтеви:

- способност ношења терета,
- смањење удара на остале делове точка и возила у целини,
- пренос сила (погонских, бочних и кочних),
- мали отпор при котрљању,
- могућност протектирања – нарезивања,
- дуг век трајања,
- низак ниво буке.

Основа кретања моторних возила су заснована управо на кретању точка, о чему ће и бити речи у овом раду.

3. ТОЧКОВИ МОТОРНИХ ВОЗИЛА

Точак омогућава ротационо кретање и при њему смањује трење. Точак може да транслатује ротационо кретање. Његова посебност да се при истим угаоним брзинама ротирања, тачке на њему не крећу истим брзинама, односно, да се тачке удаљеније од центра ротације крећу већим брзинама, је омогућила да се мањим угаоним брзинама произведу веће угаоне брзине. Ова редукција се добија системом комбинованих точкова различитих пречника међусобно непосредно узубљених или посредно повезаних ланцима, сајлама, канапима.

Комбинацијом ужљебљених точкова (котура) повезаних сајлама или канапима, смањује се сила за подизање терета онолико пута колико има котура у систему. Котурача се добија комбинацијама помичних котурава. [3]

Точак (слика 4) је спојен са осовином на један од два начина: 1) или је осовина непокретна, а точак се окреће; 2) или су осовина и точак чврсто спојени и заједно се окрећу. Код било ког од ова два начина, постоји место где се спаја део који се окреће са непокретним делом. Тај део се зове лежај. У том делу се дешава трење и ствара се сила отпора.

У теорији кретања моторног возила најопсежнија разматрања односе се управо на точак при чему се ова разматрања могу поделити у четири групе:

- механика котрљања точка,
- хоризонталне подужне силе на точку,
- вертикалне силе на точку и реакције тла,
- хоризонталне бочне силе на точку.

Са становишта основних карактеристика пута и точка разликују се следећи могући случајеви:

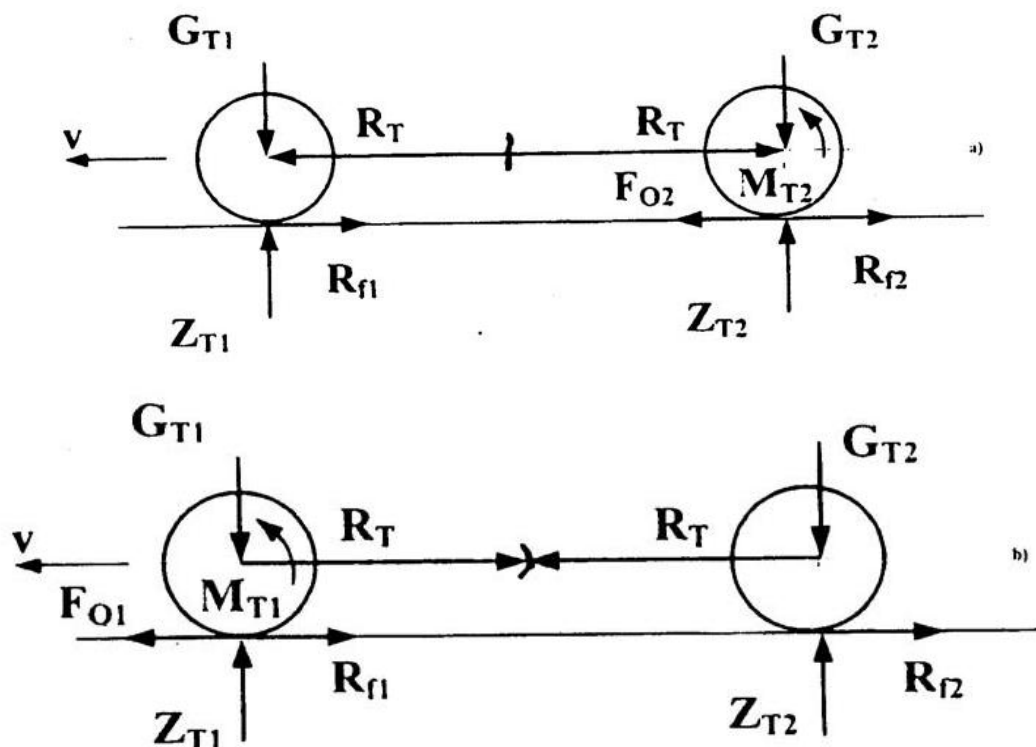
- a) Котрљање нееластичног точка по деформабилном путу,
- b) Котрљање нееластичног точка по недеформабилном путу,
- c) Котрљање еластичног точка по деформабилном путу,
- d) Котрљање еластичног точка по недеформабилном путу.



Слика 4 – Точак моторног возила

На слици 5 је дат приказ међусобне везе точкова и шасије возила, како би се објаснила функција точкова током кретања моторних возила и значај који точкови имају за остваривање кретања моторних возила.

Уколико се возило креће праволинијски, малим брзинама, на слици 5а) је дат приказ задњих, а на слици 5б) предњих погонских точкова. Очигледно је са слике да реактивне и активне силе на точковима зависе од тога да ли су они погонски или непогонски (у општем случају и кочени), као и од њиховог положаја у односу на шасију возила (напред, позади).



Слика 5 – Начин остваривања кретања моторних возила у зависности од положаја погонских точкова [3]

Задатак погонских точкова моторних возила је да у спрези са тлом претворе енергију коју преко трансмисије примају од мотора у вршење рада и тиме омогућавају кретање. Док, непогонски точкови моторних возила омогућавају кретање где се преко њих не доводи обртни момент који је неопходан за кретање моторних возила. Управљање возилом се може остварити у зависности од концепције моторног возила преко предњих, задњих, односно свих точкова.

Како би се објаснило кретање моторних возила, првенствено је потребно размотрити котрљање точка и одредити неопходне релације. Могу бити *динамичке* (укључене силе и моменти) и *кинематичке* (само брзине и померања). Међусобним односом пнеуматика и пута са једне стране, и точка и шасије мотора са друге стране се одређују услови котрљања точкова.

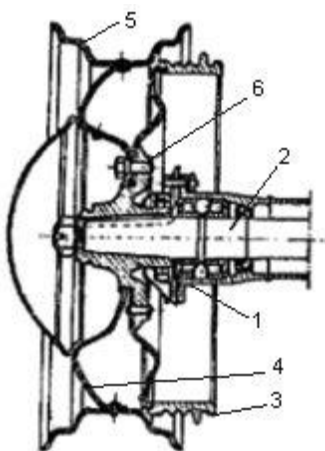
Аутомобилски точак (слика 6) се састоји од пнеуматика и наплатака. Наплатак је погодним начином везан за кочиони добош који се налази на погонском или гоњеном мосту. Ако се точак налази на погонском мосту онда је кочиони добош повезан за

полувратило. Веза погонског точка са полувратилом приказана је на слици 7. Точак возила на себе прима оптерећење свих маса возила, а такође и удара преко свог еластичног дела (пнеуматика). Пнеуматици и систем ослањања омогућавају да се ови удари не преносе директно на рам (шасију) или каросерију возила.

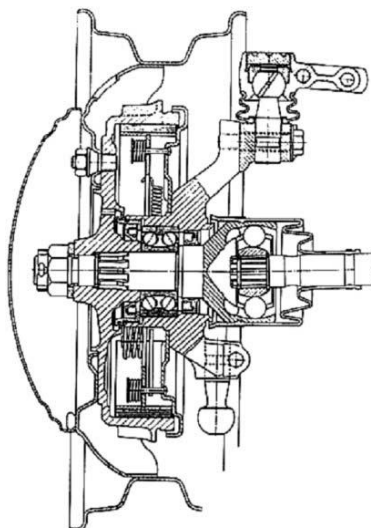


Слика 6 – Аутомобил марке Mercedes Benz

Пошто се кретање возила остварује узајамним дејством точкова и коловоза то точкови примају и предају све активне и реактивне моменте. Код управљачких точкова веза точка са полувратилом иде преко зглобних преносника. Пример такве везе дат је на слици 8. [4]



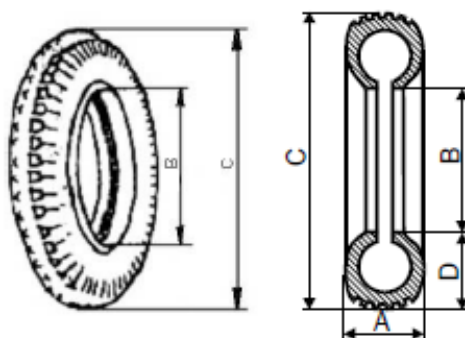
Слика 7 – Веза погонског точка са полувратилом (1 – главчина; 2 – полувратило; 3 – кочиони добош; 4 – диск; 5 – наплатак; 6 – веза точка са главчином) [4]



Слика 8 – Веза управљачког точка са вратилом [4]

Точкови за путничка возила разликују се конструктивно од точкова за теретна возила већих носивости и аутобусе, на шта углавном утиче димензија пнеуматика. Обично се точкови за путничка возила раде као једна целина, док се за теретна возила и аутобусе праве из више лако раздвојивих делова, тако да се пнеуматици могу лакше монтирати. Облици наплатка и димензије точкова су стандардизовани.

У зависности од максималне брзине којом се крећу возила, могу се употребити пуни пнеуматици (до 25 km/h), а за сва остала возила стандард ЈУС предвиђа искључиво пнеуматике напуњене ваздухом. Као и точкови и пнеуматици су стандардизовани, а димензије (сл. 9) се обично дају у цоловима, некад у милиметрима, а некад комбиновано у цоловима за једну димензију, а у милиметрима за другу димензију. [5]



Слика 9 – Димензије гума [5]

нпр.:

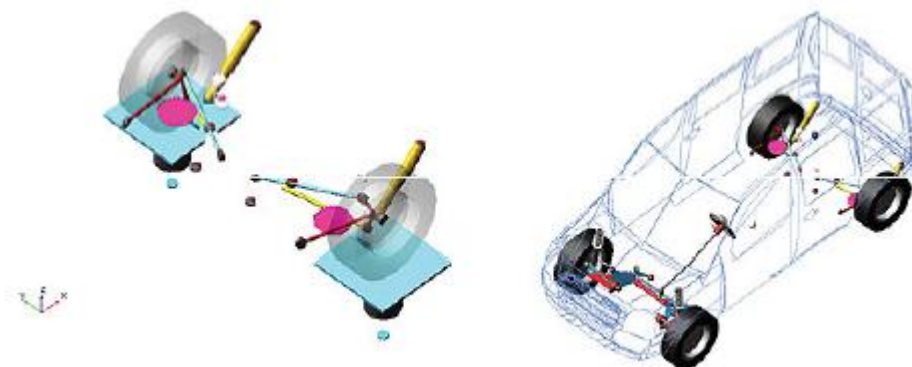
- 1) Гума обележена само у цоловима: 5.20 x 12'' – са 5.20 означена је димензија балона пнеуматика у цоловима (A), а са димензијом 12'' дат је пречник наплатка (B).

- 2) Гума обележена димензијама: 5.00 x 355 – са 5.00 означена је димензијама балона пнеуматика у цоловима (А), а са димензијом 355 дат је пречник наплатка у милиметрима (В).
- 3) Гума обележена димензијама: 165 x 380 дате су све у милиметрима где је 165 mm – пречник балона (А), а 380 mm пречник наплатка (В).
- 4) Гума обележена димензијама: 15 R x 185/60 је радијална гума пречника наплатка 15", 185 mm је ширина балона (А) и 60 представља процентуални однос 100 AD.

Данас је врло интензиван развој пнеуматика код возила, како нагазног слоја, еластичних бочних страна пнеуматика, тако и структуре материјала од кога се раде пнеуматици.

Точак аутомобила представља скуп наплатка и пнеуматика. Спољашња и унутрашња гума се подразумевају под пнеуматиком, или код савремених конструкција само спољашња гума, примењена на путничким аутомобилима. Део пнеуматика који се пуни ваздухом под притиском чини унутрашња гума. На слици 11 је дат приказ више слојева спољашњих пнеуматика, где је најчешће спомињан газећи слој или протектор који има увек на себи шире шаре против клизања точка. [5]

Кретање возила по тврдим подлогама – динамика возила (слика 10) може бити: уздужна, попречна и вертикална динамика.



Слика 10 – Динамика возила

У свим правцима је точак аутомобила еластичан: тангенцијалном, радијалном и бочном. У складу са еластичношћу точка у радијалном правцу разликују се полупречници точка:

- а) Номинални или називни полупречник r_n је дефинисан на основу номиналних димензија точка. Рачуна се на основу формуле:

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

где су:

d - пречник обода наплатка,

h - висина профила спољног пнеуматика.

- б) Слободни полупречник r_o се дефинише на основу максималног обима точка који се не обрће и на који не дејствују силе:

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

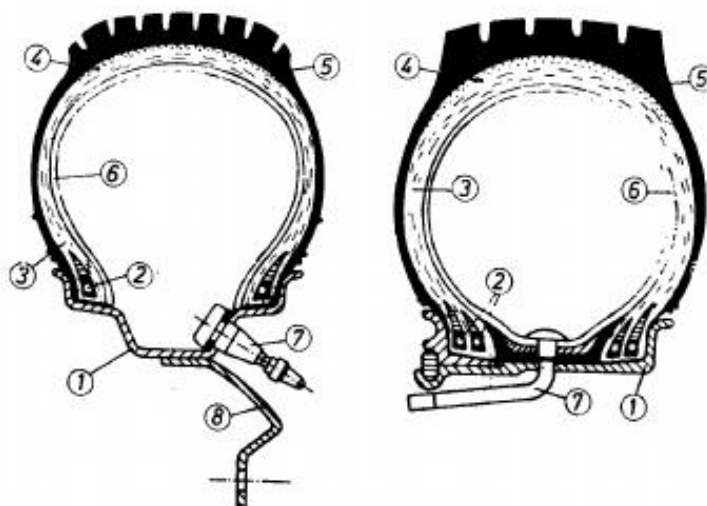
- с) Статички полупречник r_s представља растојање од осе точка до подлоге при чему је точка непокретан и оптерећен радијалном реакцијом. По формули се може одредити тај полупречник:

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

где је:

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

Код путничких возила се углавном сусрећу пнеуматици без унутрашњих пнеуматика, чија је структура видљива на слици 11-лево, а код теретних возила углавном постоји унутрашњи пнеуматик, чији се облик види на слици 11-десно. Ту је **а) точкак без унутрашњег пнеуматика („tubeless“)** (лево на слици): 1 – наплатак, 2 – жичани обруч, 3 – платнени уложак, 4 – међуслој, 5 – газећи слој (протектор), 6 – гумени заптивни слој, 7 – вентил, 8 – котур (диск); **б) точкак са унутрашњим пнеуматиком** (десно на слици): 1 – наплатак, 2 – жичани обруч (језгро), 3 – платнени уложак (каркаса), 4 – међуслој, 5 – газећи слој (протектор), 6 – унутрашња гума, 7 – вентил. [4]



Слика 11 – Точак аутомобила [4]

- d) Динамички полупречник r_d представља растојање од осе точка до подлоге кад се исти котрља. Тада на точак делују неке или све од сила: обинма, радијална и бочна.
- e) Полупречник котрљања r_f је занишљени – теоретски полупречник оног 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_t, r_d) у проучавању механике аутомобила играју важну улогу.

Велики утицај на понашање аутомобила у вожњи имају еластична својства аутомобилског точка. Та својства еластичног елемента карактерише величина крутости. Однос прираштаја оптерећења и деформација која је тим прираштајем изазвана представља крутост точка, односно:

$$c = \frac{\Delta G}{\Delta f} = \frac{\text{сила}}{\text{угиб}} \cdot \frac{k_p}{\text{см}} \qquad (1.4)$$

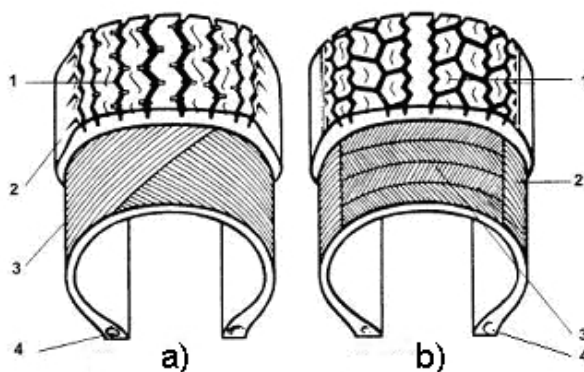
Она зависи од материјала и конструкције пнеуматика и притиска ваздуха у њој. Од утицаја су такође тврдоћа подлоге и брзина оптерећивања (директно зависна од брзине возила).

Пнеуматици се деле на две основне врсте: дијагоналне и радијалне пнеуматике. Основа за ту класификацију је положај нити платна унутар пнеуматика сл. 12. Код дијагоналних пнеуматика нити платна постављене су дијагонално, тј. увијају се око торуса под углом $\sim 40^\circ$ и представљају нормалне дијагоналне пнеуматике. Случај где је угао $\alpha \approx 30^\circ$ су дијагонално утегнуте или С пнеуматици. Следеће нити постављају се вертикално на први слој (пут), треће вертикално на други слој итд.

Између појединих слојева (путева) постоји слој пнеумтика тако да се слојеви међусобно не додирују. Сви слојеви заједно чине костур (каркаса) пнеуматика. Код дијагоналних пнеуматика каркаса је доста крута што пнеуматику даје мању еластичност, а већу могућност да се због бочних сила губи контакт на једном делу газећег слоја (протектора) пнеуматика. Код радијалних пнеуматика нити слоја су постављене у правцу радијуса. Оптерећење носи мањи број нити што овој гуми даје

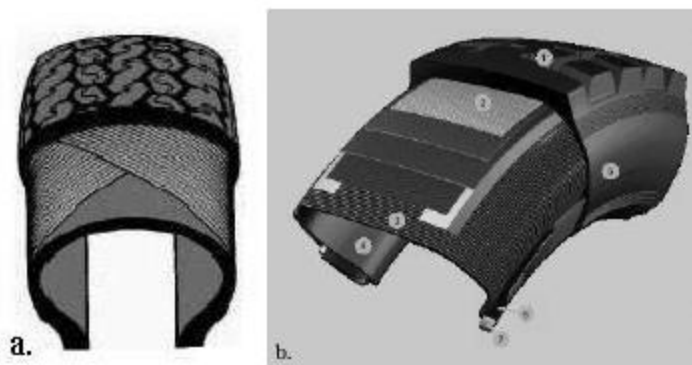
добру елстичност. Разлика у архитектури радијалних и дијагоналних пнеуматика најбоље се види на сл. 12.

Основни део пнеуматика назива се каркаса. Каркаса на себе прима највећи део оптерећења пнеуматика, а задатак му је да пнеуматику, у исто 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. Зависно од положаја и распореда нити корда, разликују се два типа пнеуматика: радијални и дијагонални пнеуматици. Код радијалног типа пнеуматика, угао који нити корда заклапају са уздужном осом пнеуматика износи 90° . Угао који нити корда заклапају са уздужном осом пнеуматика код пнеуматика дијагоналног типа је мањи од 90° . На слици 13 приказана је структура каркаса за дијагонални и радијални пнеуматик.



Слика 12 – Дијагонални и радијални пнеуматик [4]

На слици 12 а) на дијагоналном пнеуматику је означено: 1 – газећи слој – протектор; 2 – бок пнеуматика; 3 – каркаса; 4 – жичани обруч – језгра; б) на радијалном пнеуматику је означено: 1 – газећи слој; 2 – каркаса; 3 – појасеви; 4 – жичани обруч – језгро. [4]



Слика 13 – Архитектура дијагоналног и радијалног пнеуматика [4]

Профил спољног слоја пнеуматика (газећег) зависи од услова експлоатације, па постоје пнеуматици који се употребљавају у месецима без снега и зимских пнеуматика. У новијем развоју спољног профила пнеуматика све већа пажња се посвећује

профилисању канала по ободу пнеуматика, у циљу смањења отпора, посебно при вожњи по путу са слојем воде.

Пример шара протектора летњих и зимских пнеуматика путничког возила види се на сл. 14.



Слика 14 – Шема протектора а) летњих и б) зимских пнеуматика путничког возила [4]

3.1. Котрљање точка

Уколико се претпостави случај котрљања точка где се деформише и тло и точкак, код таквих деформација се троши рад на трење између точка и тла, као и на унутрашње трење у материјалу пнеуматика и тла. Од великог броја фактора зависи коефицијент отпора котрљања.

Механика кретања аутомобила се заснива на котрљању точка (слика 18). Три случаја котрљања, у зависности од подлоге по којој се точкак котрљања су:

- 1) Деформације тла су занемарљиво мале у односу на деформације точка. Случај котрљања еластичног точка по апсолутно тврдом путу (слика 15).
- 2) Деформације тла су занемарљиво мале у односу на деформације пута. Случај котрљања апсолутно крутог-тврдог точка по меком путу.
- 3) Деформације точка и пута су величине истог реда. Случај котрљања еластичног точка по меком путу (слика 16).

Ако је у питању савремени пут са „тврдим“ покривачем утрошен рад при деформацији тла је занемарљиво мали у односу на утрошени рад при деформацији еластичног точка. Најдоминатнији и најважнији од свих фактора је отпор хистерзиса, где у уобичајним условима кретања друмских возила, овај удео чини $\sim 90^\circ$ укупног отпора.

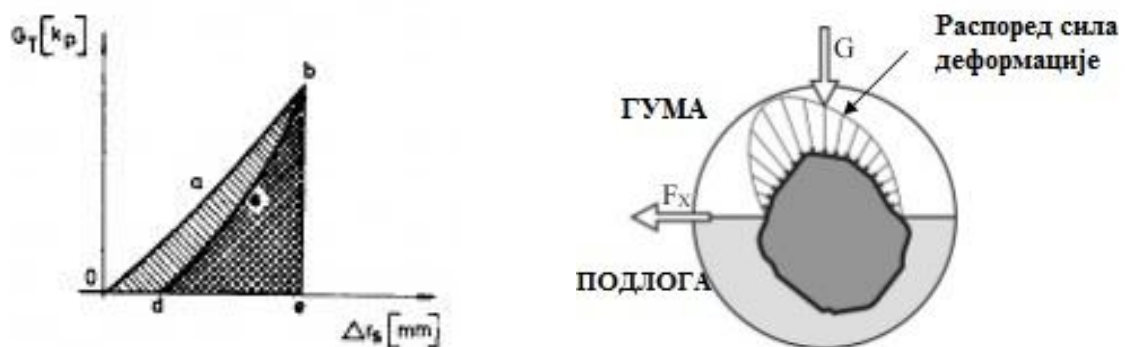


Слика 15 – Кретање возила по тврдој подлози



Слика 16 – Кретање возила по мекој подлози

Уопште, све врсте деформације пнеуматика изазивају унутрашње трење. Губитак енергије се ствара услед појаве унутрашњег трења. До појаве хистерезиса долази јер материјал од кога су израђени пнеуматици (унутрашња и спољашња гума) није апсолутно еластичан. На слици 17 је дат приказ где се постепеним повећавањем оптерећења точка смањује статички полупречник (r_s). Уколико се региструје промена статичког полупречника (Δr_s), при постепеном повећавању оптерећења точка (G_T) до одређене величине, добија се крива Oab . [4]



Слика 17 – Појава хистерезиса [4]

Док, при постепеном растерећењу точка, односно при смањивању оптерећења G_T , промена статичког полупречника се врши по кривој obd , значи по некој другој кривој. Површина испод криве „а“ (obe) представља рад утрошен на деформацији пнеуматика. Услед непотпуне еластичности пнеуматика, са смањивањем терета враћа се рад који одговара површини испод криве „с“ (bde). Неповраћену енергију при деформацији пнеуматика представља петља obd . И та појава се назива хистерезис. Велика је учестаност циклуса промене оптерећења при котрљању аутомобилског точка по путу.

Део енергије се изгуби у сваком циклусу. Знатно смањење петље хистерезиса (неповраћене енергије) може бити правилним избором материјала за пнеуматик са малим унутрашњим трењем, смањењем крутости газећег слоја, смњењем броја платана и другим конструктивним мерама.

Функција f брзине v у облику полинома „ n “-тог реда:

$$f = f_o + f_1 v + f_2 v^2 + \dots f_n v^n \quad (1.5)$$

Коефицијент f се увећава са повећањем оптерећења на точак, јер се повећавају деформације пнеуматика и тла. Али ако према фабричким прописима се оптерећење пнеуматика не прекорачује, а при томе одабрани притисак ваздуха одговара оптерећењу, могу се занемарити оптерећења.

За добре путеве се користи емпиријска формула [3]:

$$f = \frac{0,019}{\sqrt[3]{p}} + \frac{0,00245}{\bar{p}} \frac{v}{100}^2 + \frac{0,0042}{\sqrt[3]{p^4}} \frac{v}{100}^3 \quad (1.6)$$

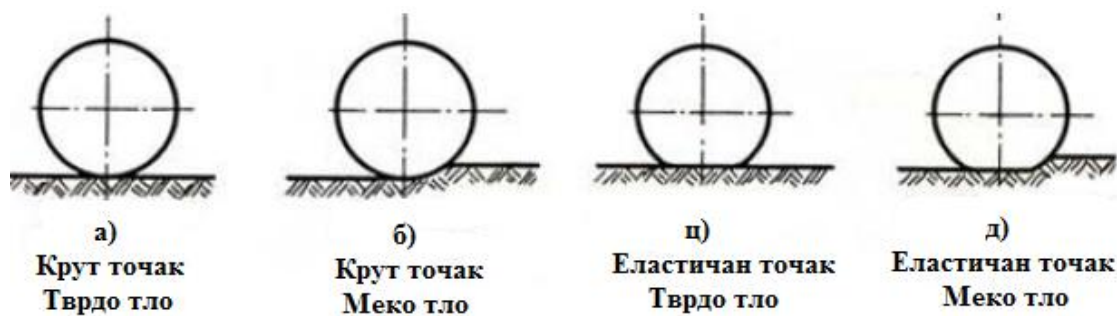
p $kp \text{ cm}^2$ - притисак ваздуха у гуми.

$$f = f_o (1 + av^2) \text{ - практична примена} \quad (1.7)$$

f_o - коефицијент отпора при котрљању, који се односи на 60 km/h,

a – константа, приближно једнака $(4 \div 5) 10^{-5}$,

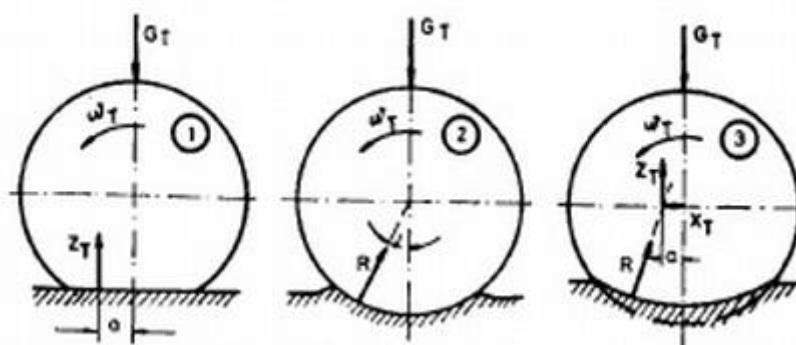
v - брзина кретања у km/h .



Слика 18 – Облици кретања точка по тлу [4]

На слици 19 у првом случају реакција тла је усмерена управно на тло на одстојању „а“ од осе точка. Отпор при котрљању се појављује у облику момента $M_t = Z_T \cdot a$.

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

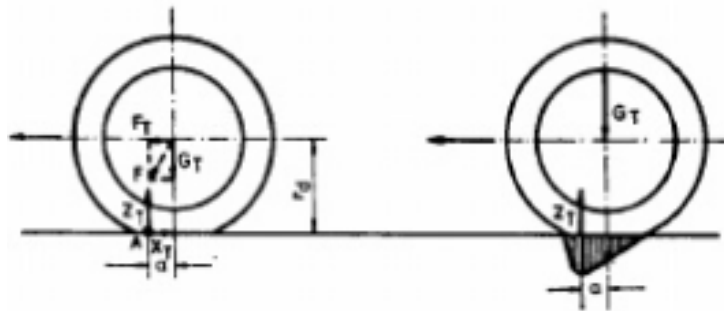


Слика 19 – Три случаја котрљања точка [4]

У трећем случају реакција тла (R) је коса, ексцентрично постављена у односу на осу точка. Отпор при котрљању се појављује у облику момента нормалне компоненте Z_{Ta} и силе X_T која дејствује насупрот котрљању. Највећу важност при проучавању механике кретања аутомобила има први случај, котрљање еластичног точка по тврдој подлози. Из разлога јер се деформације савремених аутомобилских путева могу занемарити у односу на деформације точка.

Разматра се први случај котрљања точка, оптерећеног вертикалним оптерећењем G_T , и врши се под дејством силе F_T која делује на осовину точка, а управљена је у смеру кретања точка и паралелно са хоризонталном подлогом (слика 20). Под претпоставком да је кретање равномерно, силе F_T и G_T се могу сложити у резултујућу силу F. Z_T је једна од компоненти реакције тла, усмерена управно на тло супротно од G_T , као и друга компонента реакције тла X_T , усмерена у равни тла супротно од смера кретања. Нападна тачка (A) реакције тла је померена у смеру кретања на растојања „а“. При котрљању еластичног точка делови газећег слоја који точка се понашају двојако: једни улазе у контакт са путем, а други излазе. Делови газећег слоја који улазе у контакт са путем се сабијају, док се делови који излазе шире.

Хистерзис се појављује при деформацији пнеуматика, што значи да је већи рад утрошен на сабијање од повраћеног рада при ширењу. Зато је дијаграм расподеле притиска несиметричан са тежиштем – нападном тачком резултујуће силе реакције тла – помереним у смеру котрљања тачка. Силе G_T и Z_T су по апсолутним вредностима једнаке. Са оптерећењем (G_T) компонента Z_T образује спрег сила чији је момент Z_{Ta} . [4]



Слика 20 – Котрљање гоњеног точка [4]

Тангенцијална реакција је такође једнака по апсолутној вредности силе F_T . Уколико са φ означимо коефицијент пријањања између пнеуматика и пута, онда тангенцијална реакција може да се мења у интервалу од 0 до $Z_T\varphi$, односно тада важи неједначина:

$$0 \leq X_T \leq Z_T\varphi \quad (1.8)$$

$$F_T \cdot r_d = X_T \cdot r_d = Z_{Ta} \quad - \text{из услова равнотеже тачка} \quad (1.9)$$

$$\text{одакле следи да је: } F_T = X_T = Z_T \frac{a}{r_d} \quad (1.10)$$

На основу једначине (1.9) долази се до закључка да гурајућа сила, односно сила F_T заједно са силом трења X_T образује спрег сила, чији је момент уравнотежава са моментом отпора при котрљању:

$$M_T = Z_{Ta} \quad (1.11)$$

Тако да сада израз (1.10) може да се пише у облику:

$$F_T = R_f = \frac{M_f}{r_d} = Z_T \frac{a}{r_d} = Z_T f = G_T f \quad \text{или} \quad R_f = G_T f \quad (1.12)$$

Уведена је нова фиктивна сила R_f у једначину (12) и она ће добити назив *отпор при котрљању* или *отпор котрљању*. По апсолутној вредности сила R_f је једнака сили

F_T , директно пропорционална вертикалном оптерећењу G_T и односу $\frac{a}{r_d} = f$, који се назива *коэффициент отпора (при) котрљању*.

Како би се добио услов за који је могуће котрљање точка, користи се неједначина (1.8) и однос (1.10). Тако се добија $Z_T a r_d < Z_T \varphi$, тј.:

$$f \leq \varphi \quad (1.13)$$

Приликом разматрања сложенијег случаја, према слици где је котрљање точка под дејством доведеног момента M_T , претпоставља се да је кретање равномерно, а отпор ваздуха занемарљиво мале величине. Појављују се реакције тла X_T и Z_T , под дејством доведеног – погонског момента M_T и радијалног оптерећења точка G_T . Те реакције тла 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 једнака по апсолутној вредности са тангенцијалном реакцијом тла, X_T , само супротног смера. Тако да је на основу свега тога [4]:

$$M_T = X_T \cdot r_d + Z_T \cdot a \quad (1.14)$$

$$X_T = \frac{M_T}{r_d} - Z_T \cdot f = \frac{M_T}{r_d} - G_T \cdot f \quad (1.15)$$

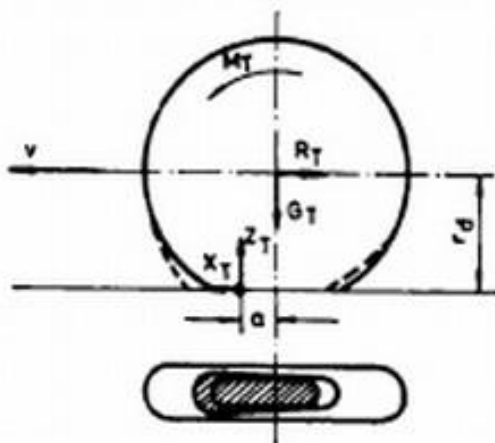
Сам однос $\frac{M_T}{r_d}$ представља обимну силу погонског точка, која се обележава са F_T . Фиктивна сила отпора при котрљању је $G_T \cdot f$ и обележава се са R_f . Онда једначина (1.15) је:

$$X_T = F_T - R_f \quad (1.16)$$

Налази се услов за овакав случај (слика 21), где је могуће котрљање (без клизања) точка. Користи се једначина:

$$X_T < Z_T \varphi \quad \text{или} \quad \frac{M_T}{r_d} - Z_T \cdot f < Z_T \varphi \quad \text{или} \quad \frac{M_T}{r_d} = F_T < Z_T \varphi + f \quad (1.17)$$

$$F_{Tmax} = Z_T \varphi + f \quad (1.18)$$



Слика 21 – Котрљање погонског точка [4]

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

$$F_T < Z_T \varphi \text{ и } F_{T_{max}} \approx Z_T \varphi \quad (1.19)$$

Израз (1.19) одговара случају крутог точка и круте подлоге и зато је ту знак једнакости. На слици испод је дат приказ специјалног случаја погонског точка - точка који кочи моментом кочења $M_k = -M_T$. Смер реакцијама R_T и X_T се мења, са променом знака доведеном моменту. Такође и величина момента M_k може да се мења од 0 до неке минималне, негативне вредности која одговара почетку проклизавања коченог точка. X_T , тангенцијална реакција се такође мења у границама:

$$-f Z_T > X_T > -Z_T \varphi \quad (1.20)$$

Док момент M_k у границама:

$$0 > M_k > -Z_T \varphi r_d - a \quad (1.21)$$

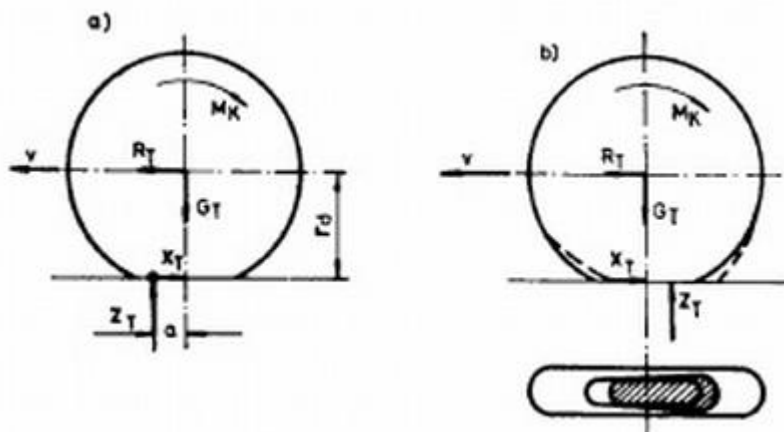
Минимална обимна сила коченог точка износи:

$$F_{T_{min}} = -Z_T \varphi - f \quad (1.22)$$

Према слици моментна једначина гласи:

$$M_k = -M_T = X_T r_d - Z_T a \quad M_T = -X_T r_d + Z_T \cdot a \quad (1.23)$$

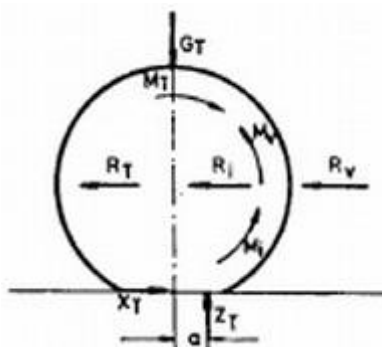
Са повећањем момента кочења M_k повећава се апсолутна вредност тангенцијалне реакције X_T , која проузрокује смањене крака „а“. Резултујућа нормална реакција тла, при изразито великом моменту кочења, може да дејствује и на неком растојању „а“ (слика 22) иза попречне равни симетрије точка.



Слика 22 – Кочени точак [4]

3.2. Општи случај котрљања точка без утицаја бочне силе

Општи случај погонског точка је приказан на слици 23 и претпоставља се да точак има транслаторно убрзано кретање. Котрљање точка без утицаја бочне силе се врши у равни точка, а карактер самог кретања зависи од карактера сила које делују на точак.



Слика 23 – Општи случај котрљања точка [4]

Вертикално оптерећење G_T делује вертикално на точак, као и обртни момент M_T , који је већи од момента вертикалне реакције $Z_T \cdot a$. У смеру кретања точка је реакција тла Z_T померена за малу величину „ a “, с обзиром на деформације пнеуматика, како у тангенцијалном тако и у радијалном правцу. Хоризонтална је подлога и на точак у општем случају делују моменти и силе:

X_T – хоризонтална реакција тла услед дејства момента M_T ,

$R_i - m_T d_v dt$ - инерцијална сила услед убрзаног транслаторног кретања (m_T - маса точка, $d_v dt$ - убрзање осе точка),

R_v – сила отпора ваздуха која се супротставља транслаторном кретању точка,

R_T – хоризонтална реакција од осовине услед дејства момента M_T ,

$M_i - J_T d\omega_T dt$ – инерцијални момент отпора убрзаном обртања точка (J_T – момент инерције точка, $d\omega_T dt$ – угаоно убрзање точка),

M_v – момент отпора ваздуха којим се исти супротставља обртању точка.

Из услова равнотеже се добија:

$$\begin{aligned} Z_T &= G_T \\ X_T &= R_T + R_i + R_v \\ M_T &= Z_T \cdot a + X_T \cdot r_d + M_i + M_v \end{aligned} \quad (1.24)$$

M_v – момент отпора ваздуха, као и R_v – сила отпора ваздуха могу се сматрати занемарљиво малим величинама, односно $M_v \approx 0$ и $R_v \approx 0$, тако да се израз (1.24), своди на израз (1.25):

$$\begin{aligned} Z_T &= G_T \\ X_T &= R_T + R_i \\ M_T &= Z_T \cdot a + X_T \cdot r_d + M_i \end{aligned} \quad (1.25)$$

Са $v = \text{const.}$ за случај равномерног кретања следи да је $\frac{d\omega_T}{dt} = 0$ и $\frac{dv}{dt} = 0$ и одатле се добија:

$$\begin{aligned} Z_T &= G_T \\ X_T &= R_T \\ M_T &= X_T \cdot r_d + Z_T \cdot a \end{aligned} \quad (1.26)$$

Уколико се анализира једначина (1.26) закључује се да погонски точак има позитивну тангенцијалну реакцију тла X_T и да доведени момент M_T је већи од момента $Z_T \cdot a$ за износ $X_T \cdot r_d$. А ако се момент M_T смањује, смањиваће се и тангенцијална реакција тла X_T . Ако је момент $M_T = a \cdot Z_T$, $X_T = 0$ постаје тангенцијална реакција тла. Та тангенцијална реакција X_T постаје негативна за вредности $M_T < a \cdot Z_T$. [4]

Једначина (1.26) омогућава да се уведу појмови о стању точка, а у зависности од величине момента M_T и тангенцијалне реакције X_T . У скраћеном облику тај израз изгледа овако:

а) $M_T > a \cdot Z_T$ и $X_T = 0$ – точак је погонски,

Код погонског точка је увек случај, као и овде, да тангенцијална реакција X_T дејствује у правцу кретања. $X_{T_{max}} = \varphi Z_T$ је највећа вредност тангенцијалне реакције и

њене вредности могу да се нађу у границама према једначини (1.8), тако да је за погонски точак $0 < X_T < \varphi Z_T$.

Максимална вредност момента је:

$$M_{Tmax} = X_{Tmax} \cdot r_d + a \cdot Z_T = \varphi Z_T \cdot r_d + a \cdot Z_T \varphi = \varphi r_d + a Z_T \quad (1.27)$$

И момент се креће у интервалу:

$$Z_T = \varphi r_d + a > M_T > a Z_T \quad (1.28)$$

- б) $M_T = a Z_T$ и $X_T = 0$ - точак је слободан,
- с) $0 > X_T > -f \cdot Z_T$ $a Z_T > M_T > 0$ - точак је неутралан,
- д) $X_T = -f Z_T$ $M_T = 0$ - точак је гоњени,
- е) $M_T < 0$ - точак је кочени.

Овде је тангенцијална реакција негативна, односно дејствује у супротном смеру од смера кретања. Према изразу (1.20) се налазе њене вредности у интервалу, између $-Z_T f$ и $-Z_T \varphi$.

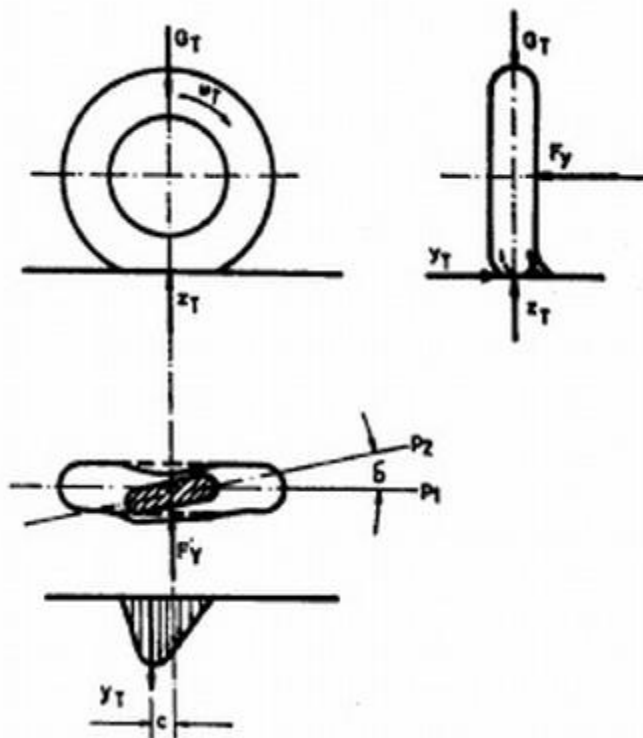
3.3. Котрљање точка под дејством бочне силе

Инжењер Broulhiet G. је 1925. године уочио појаву скретања точка под дејством бочне силе. До бочног скретања пнеуматика долази долази у случају постојања бочне силе и та је појава позната под називом „повођење“. Дејство бочне компоненте на бочно еластичан точак проузрокује бочно скретање точка. То се дешава код бочно еластичног точка без обзира колико је мала бочна компонента. [4]

Под дејством бочне компоненте крут точак се котрља у својој равни без бочног скретања, све док бочна компонента (тј. резултујућа компонента у равни тла) не достигне вредност $G_T \varphi$. Тада почиње бочно клизање точка, док на основу досадашњих сазнања брзина котрљања точка незнатно утиче на појаву скретања. Већи број фактора утиче на скретање бочно еластичног точка под дејством бочне силе и наважнији су:

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

На слици 24 је дат приказ бочно еластичног точка, који се котрља у назначеном правцу по хоризонталној тврдој подлози. Делује вертикално оптерећење G_T и бочна сила F_y на точак, услед чега се појављују реакције тла Z_T и Y_T . У зони контакта са тлом слојеви пнеуматика ће се деформисати, услед дејства бочне реакције тла. Резултујућа бочна реакција Y_T биће померена уназад на растојању „а“, с обзиром на карактер расподеле елементарних компонената бочних реакција тла. То растојање се назива траг скретања.



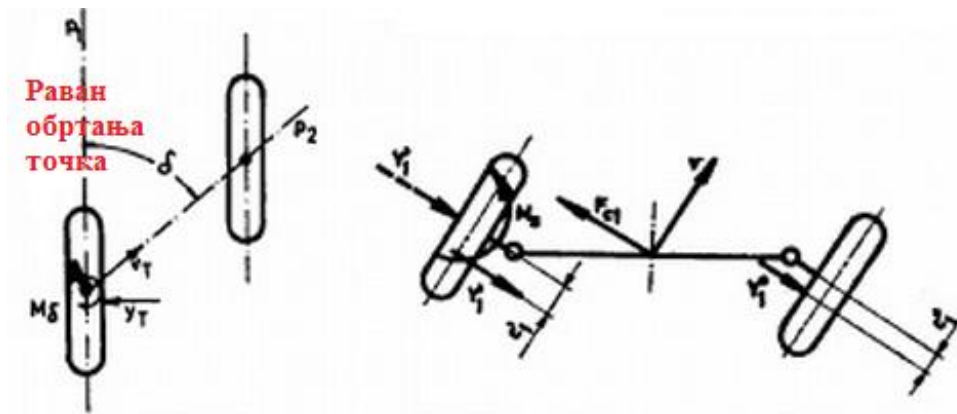
Слика 24 – Котрљање точка под дејством бочне силе [4]

Слојеви пнеуматика који још нису ушли у контакт са тлом задржавају свој првобитни облик, односно не деформишу се бочно. Његово бочно померање настаје у моменту додир посматраног елемента пнеуматика са тлом и тим је веће уколико је елемент пнеуматика ближи задњем крају контактне површине (отиска). Закључује се на основу свега тога да је тежиште дијаграма елементарних бочних реакција тла померено уназад, што значи да резултујућа бочна реакција тла делује иза осе точка. Уколико се специфични притисак и ширина отиска не мењају по целој дужини отиска пнеуматика, овакав закључак је одговарајућ. Међутим, како се специфични притисак и ширина отиска знатно мењају по дужини отиска онда тај закључак није одговарајућ и исправан. Али закључак о померању нападне тачке резултујуће бочне реакције иза осе точка, остаје у важности.

Точак се креће по правцу p_2 , односно скреће, а не држи правац p_1 (раван точка). За котрљање у присуству бочне силе (тј. бочне реакције тла) је везано бочно скретање точка, при чему нови делови пнеуматика који долазе у додир са тлом постају релативно, у односу на точак, померени у смеру дејства резултујуће бочне реакције тла. Точак се у процесу котрљања бочно премешта, тако да у сваком новом положају остаје паралелан самом себи. Правац p_2 има брзина точка v_T а угао δ између та два правца (p_1, p_2) се зове **угао скретања**. [4]

Скретање точка је приказано на слици 25. На основу тога је бочна реакција тла Y_T пренета у тачку А (слика 25) и добијен је момент скретања (M_δ), који се често и зове **момент стабилизације** и означава са M_s :

$$M_s = M_\delta = c \cdot Y_T \quad (1.29)$$

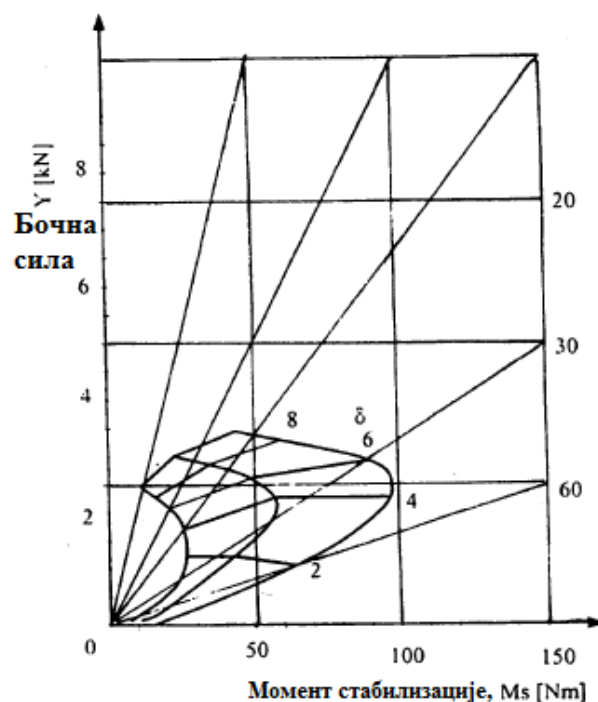


Слика 25 – Дејство момента стабилизације на управљајуће точкове аутомобила [4]

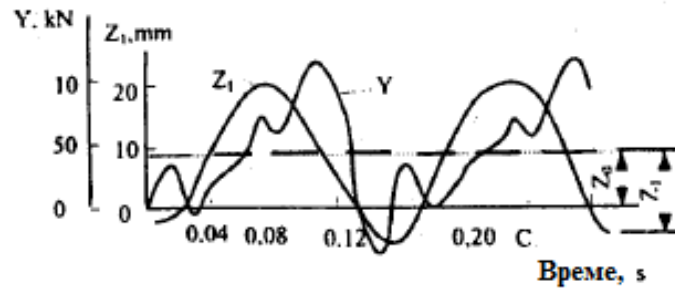
При заокретању управљајућих точкова аутомобила, ефекат дејства момента M_s је приказан на слици 26. F_{c1} – компоненти центрифугалне силе се супротстављају Y_1' Y_1'' - реакције тла, које у односу на осовинице рукавца образују моменте који теже да врате заокренуте точкове у правац праволинијског кретања аутомобила:

$$M_s' = Y_1' \cdot c_1' \quad M_s'' = Y_1'' \cdot c_1'' \quad (1.30)$$

На слици 27 је приказано испитивање пнеуматика у нестационарним условима, најчешће уз променљиве δ и Z_T , док је на слици дат приказ нестационарне бочне силе једног пнеуматика при промени радијалне реакције тла, по синусном закону. На основу слика, бочна сила се у великој мери разликује од оне која је добијена у стационарним условима. Нестационарне бочне карактеристике су веома значајне за динамичке карактеристике моторних возила, али се јако ретко налазе у литератури. [3]

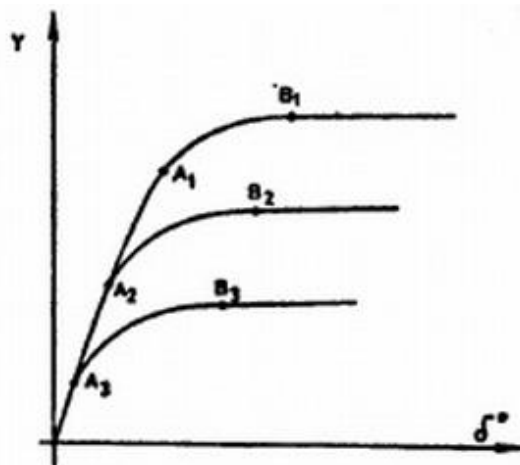


Слика 26 – Комплексна стационарна бочна карактеристика једног пнеуматика [3]



Слика 27 – Пример нестационарне бочне карактеристике пнеуматика [3]

При одређеном повећању бочне силе F_y на основу испитивања закључено је да угао скретања директно пропорционално повећава од 0 до одређене тачке A_1 (слика 28). Угао скретања нагло расте при даљем повећању бочне силе што је знак да је наступило делимично бочно клизање. Потпуно клизање почиње у тачки B_1 и на слици су дате три криве за различите коефицијенте пријањања $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Бочна сила достиже вредност φZ_T у моменту потпуног клизања.



Слика 28 – Зависност између бочне силе и угла скретања [3]

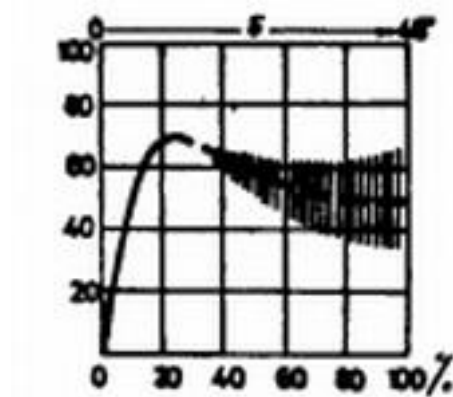
OA_1 , праволинијски део криве дефинише зависности:

$$Y_T = F_y = k_s \delta \quad (1.31)$$

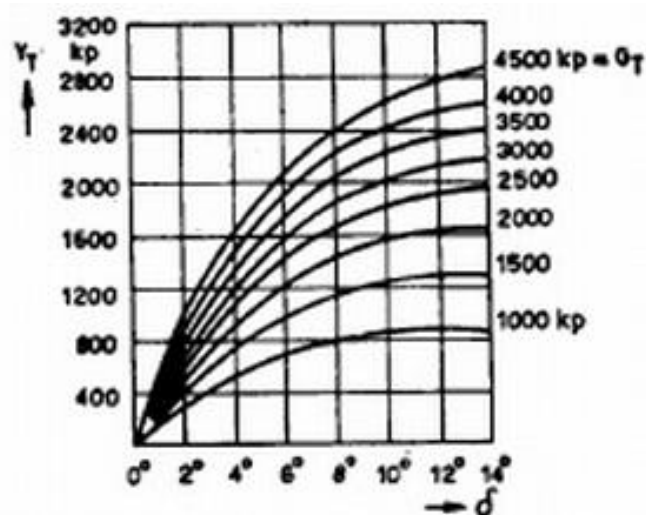
Коефицијент k_s (коефицијент отпора скретања) показује којом бочном силом треба деловати на точак како би се извршило његово скретање за 1° . Изражавање брзине бочног померања може бити са:

$$v_y = v_\delta = v \cdot \operatorname{tg} \delta \approx v \delta \quad (1.32)$$

Однос Y_T / G_T је дат на слици 29 у процентима у функцији од угла скретања, тј. од $tg\delta$ %. Однос Y_T / G_T дефинише бочни коефицијент пријањања $\varphi_y \approx \varphi$. [3]



Слика 29 – Зависност односа Y_T / G_T % од $tg\delta$ % [3]

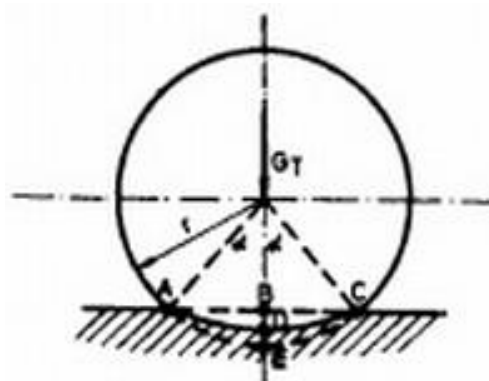


Слика 30 – Зависност бочне реакције Y_T од угла скретања δ и радијалног оптерећења точка G_T [3]

Зависност реакције Y_T од угла скретања δ је дат на слици 30, као и радијалног оптерећења точка G_T .

3.4. Површинско клизање

Упрошћен пример где је чачак непокретан и оптерећен вертикалним оптерећењем је приказан на слици 31.



Слика 31 – Површинско клизање [4]

Лук АЕС се скраћује услед деформације точка на величину ADC; док се услед деформације пута одсечак ABC претвара у дужи лук ADC. Одређује се укупан пут клизања елемената додирне површине точка по тлу, занемарујући тангенцијалну еластичност точка. Укупан пут површинског проклизавања износи:

$$S = AEC - ADC + ADC - ABC = AEC - ABC \quad (1.33)$$

Добија се разлика лука точка и дела пута који се нису деформисали и та разлика не зависи од лука по коме се стварно додирују точак и тло. Уколико се једначина (1.33) (на основу слике) изрази преко полупречника точка „ r “ и угла „ α “, добија се:

$$S = 2r\alpha - 2r \sin \alpha = 2r (\alpha - \sin \alpha) \quad (1.34)$$

Затим, растављајући $\sin \alpha$ у ред, добија се:

$$\sin \alpha \approx \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \frac{\alpha^7}{7!} + \dots \quad (1.35)$$

Једначина (1.34), уколико се користе прва два члана, постаје:

$$S = 2r \quad \alpha - \alpha + \frac{\alpha^3}{3!} = \frac{r\alpha^3}{3} \quad (1.36)$$

Рад силе трења на путу S је:

$$L = G_T \cdot \mu \frac{r\alpha^3}{3} \quad (1.37)$$

μ – коефицијент трења при клизању точка. А ако се точак котрља под дејством силе F_T која делује на осовину точка и точак се окрене за угао 2α , његов центар се помера транслаторно за величину S_1 . [4]

$$S_1 = 2r \sin \alpha \approx 2r \left(\alpha - \frac{\alpha^3}{3!} \right) \quad (1.38)$$

Рад силе F_T је једнак:

$$L_1 = 2F_T r \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} \quad (1.39)$$

Ако је кретање равномерно са константном брзином и да на точак не делују други отпори, тада је рад сила трења (L) једнак раду (L_1) дејствујуће силе, односно:

$$G_T \mu \cdot \frac{rd^3}{3} = 2F_T r \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} \quad (1.40)$$

$$F_T = G_T \mu \frac{\alpha^2}{6-\alpha^2} \quad \text{или} \quad \frac{F_T}{G_T} = f' - \mu \frac{\alpha^2}{6-\alpha^2} \quad (1.41)$$

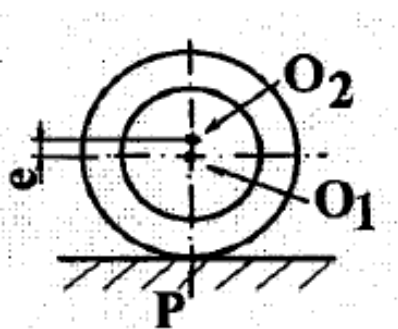
Представу о коефицијенту отпора при котрљању (f') приказује једначина (1.42). Клизање би било мање ако се узме у обзир тангенцијална еластичност пнеуматика, што би одговарало стварности. Посматрање апсолутно тврдог тла и еластичног точка је реалније и проблем се знатно компликује ако се посматра дејство 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. ОСЦИЛАТОРНЕ ПОБУДЕ ОД ТОЧКОВА

Точак моторног возила представља извор осцилаторних модела у динамичком смислу. Од ексцентричности, неуравнотежености точкова и неуниформисаности пнеуматика потичу најважније побуде. При котрљању пнеуматика великим брзинама се могу постићи тзв. „стојећи“ таласи који су практично увод у почетак разарања пнеуматика. Из тог разлога се брзина при којој се ове појаве дешавају зове „критична брзина“ и од стране произвођача се ограничава максимална брзина. За око 20 до 30 km/h је обично максимална брзина пнеуматикамања од критичне брзине пнеуматика.

4.1. Ексцентричност точка

„Ексцентричност“ је када се положаји центра точка и рукавца просторно не поклапају и наступају осцилаторне побуде (слика 32). [3]



Слика 32 - Ексцентричност точка

Ако је O_1 центар точка, а O_2 центар рукавца, претпоставља се да је пнеуматик потпуно униформан. За угао ϵ при окретању точка угиб замишљених еквивалентних радијалних опруга је дат једначином:

$$Z_e = e \sin \epsilon \quad (1.43)$$

c – радијална крутост пнеуматика, а додатна динамичка сила која је последица ексцентричности точка је дата изразом:

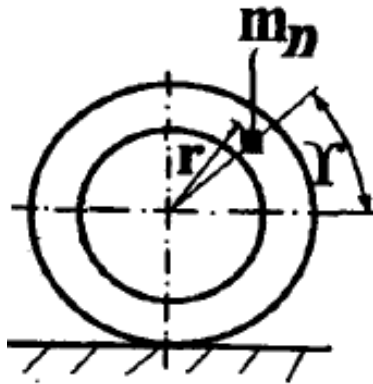
$$F_e = c \sin \epsilon = c \sin \omega \cdot t \quad (1.44)$$

4.2. Неуравнотеженост точкова

Уколико маса точка заједно са наплатком и пнеуматиком није равномерно распоређена по обиму точка (слика 33), долази до неуравнотежене масе m_a , за коју се претпоставља да се налази на растојању r од центра точка. Центрифугална сила чији је интензитет дат изразом (1.45) и јавља се како се точак окреће угаоном брзином ω . Укупна побуда која потиче од точкова једнака је збиру компонената насталих услед неуниформности пнеуматика, ексцентричности и неуравнотежености точкова. [3]

$$F_n = m_n r \omega^2 \sin \omega \cdot t + \gamma \quad (1.45)$$

γ - положај неуравнотежене масе у односу на полазно стање



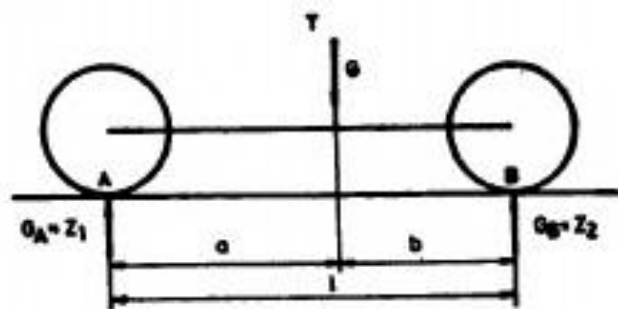
Слика 33 – Неуравнотеженост точка [3]

5. РАСПОДЕЛА ТЕЖИНЕ ВОЗИЛА СА 4 ТОЧКА

На слици 34 је дат приказ возила са 4 точка тежине G , која делује у тежишту (Т) возила. Возило се налази на хоризонталној подлози, нормалне реакције тла су Z_1, Z_2 и Z_3 . Једначине момента за тачке А и В дају израз:

$$Z_1 = \frac{G \cdot b}{l} = G_A \quad Z_2 = \frac{G \cdot a}{l} = G_B \quad (1.46)$$

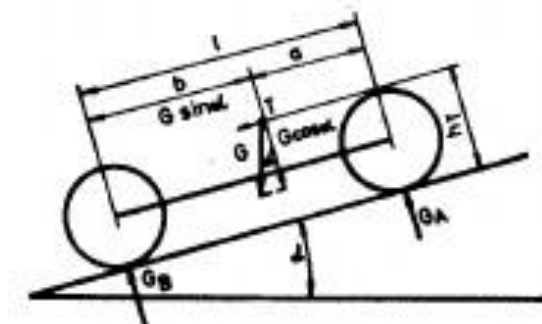
G_A и G_B – нормалне статичке реакције тла.



Слика 34 - Одређивање статичких реакција тла возила на 4 точка [4]

Нормалне статичке реакције тла за аутомобил уочен на успону (слика 35) нагиба α би била:

$$G_A = \frac{G_b}{l} \cos \alpha - \frac{G h_T}{l} \sin \alpha \quad \text{и} \quad G_B = \frac{G_a}{l} \cos \alpha + \frac{G h_T}{l} \sin \alpha \quad (1.47)$$



Слика 35 – Аутомобил на успону [4]

Компонента тежине $G \sin \alpha$ се уравнотежава силом пријањања:

$$G \sin \alpha = G \varphi \cos \alpha = K \quad (1.48)$$

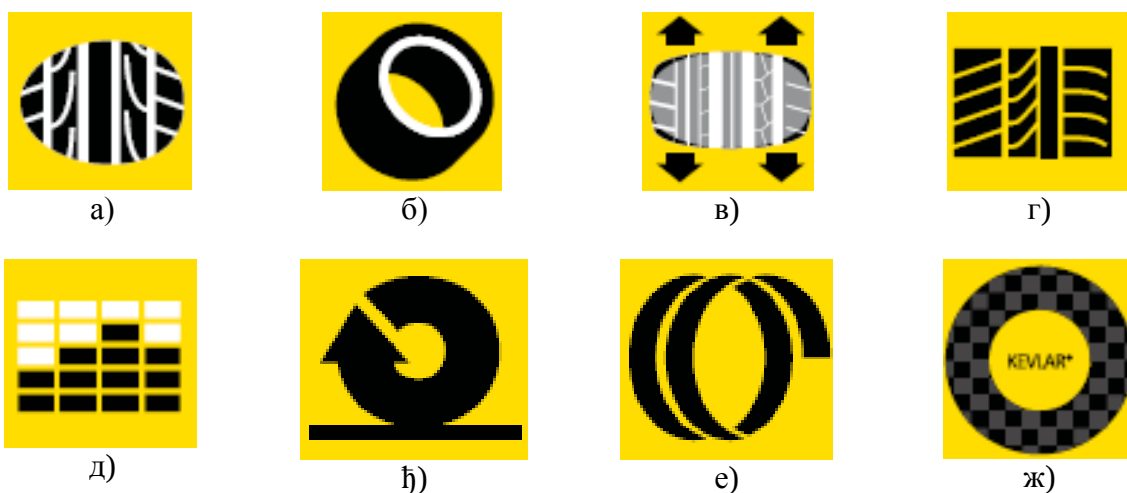
На слици 35 је дат приказа атомобила на успону, где за случај $\alpha = 0$, опет се добијају вредности из једначине прве с почетка.

6. ПРЕГЛЕД И УПОРЕДНА АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИКА ПНЕУМАТИКА ДВА ВОДЕЋА СВЕТСКА ПРОИЗВОЂАЧА

У овом раду је дат приказ две водеће фирме, односно два светска произвођача у погледу производње и постојања пнеуматика на тржишту. Такође је и дат приказ упоредне анализе пнеуматика та два светска произвођача.

6.1. Dunlop – ове технологије у аутомобилским пнеуматичима

На слици 36 је дат приказ иновација пнеуматика фирме Dunlop и у свим условима најбоље перформансе за возаче.



Слика 36 – Престижне технолошке иновације пнеуматика [6]

На слици 36а) је Dunlop-ова технологија газећег слоја са више радијуса. На основу концепта МРТ (енгл. *Multi Radius Tread*) контура пнеуматика има десет различитих радијуса и зато је прецизнија. Обезбеђује изузетно ефикасну дистрибуцију притиска газећег слоја пнеуматика на подлогу. Одзив пнеуматика је прогресиван и прецизнији, а прелаз са вожње право на вожњу у кривини је равномернији. Предности су знатно боља контрола облика површине налегања у најразличитијим условима вожње, одлична водљивост како на сувој, тако и на влажној подлози и боља контрола над возилом при кочењу. [6]



Слика 37 - Dunlop-ова контура газећег слоја са више радијуса [6]

Код слике 36б) је специфичан систем налегања венца пнеуматика где се повећава чврстина споја гуме и наплатка. Возач има потпуну контролу над возилом и прецизније осећа вожњу. као што руке управљају возилом, чврсто држећи волан, тај

специфичан систем налегања венца пнеуматика побољшава контролу и преноси извршне повратне информације са пута (слика 37). Предности су бољи одзив на коловоз, стабилнија и прецизнија вожња.



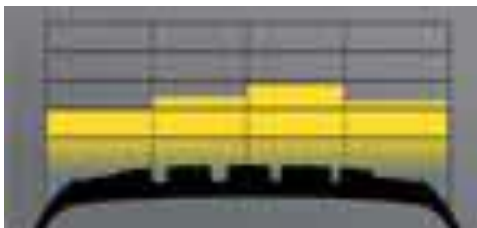
Слика 38 – Специјалан систем налегања ноге гуме [6]

На слици 36в) - постоји и равнији (пљоснат) профил газећег слоја, као и 4-8% већа површина налегања, зависно од димензије и типа. Пљоснат профил са већом површином налегања даје већу стабилност и више повратних информација о стању пута, што омогућава бржи и прецизнији одзив пнеуматика (слика 38). Предности су прецизност управљања и већа стабилност, што спречава тестерасто хабање и омогућава изузетно стабилну и прецизну вожњу у кривини и одлично пријањање на сувој подлози.



Слика 39 – Равнији дезен газећег слоја

Према слици 36г) је приказан асиметричан дезен газећег слоја који обезбеђује већу отпорност пнеуматика на аквапланинг. Аквапланинг је појава немогућности истискивања воде (снега, леда, блата) између пнеуматика и подлоге по којој се пнеуматик креће. Манифестује се проклизавањем точка, а самим тим и губљењем контроле над возилом. Узроци који доводе до аквапланинга су многобројни, а најважнији су превелика брзина кретања возила, прешироки пнеуматици, мала дубина шаре на њима итд. За почетак треба брзину возила прилагодити условима на путу (свести је на меру која омогућава сигурно управљање), смањити ширину пнеуматика (придржавати се правила по коме се ширина пнеуматика сме повећати за максимално 20 mm од фабрички уграђеног), користити пнеуматике са дубоком шаром итд. Стабилност и прецизност повећава непрекинуто централно ребро. Такође се асиметричним распоредом канала побољшава пријањање на мокрој и сувој подлози (слика 39). На основу високих перформанси пнеуматика како при вожњи право, тако и у оштрим кривинама, таква вожња представља предност у односу на друге.



Слика 40 – Асиметричан дезен газећег слоја и променљив однос пнеуматика – канали

На слици 36д) је приказан променљив однос између пнеуматика и канала и заједно са асиметричним дезеном газећег слоја, пнеуматици обезбеђују већу отпорност пнеуматика на аквапланинг. На спољашњем ремену пнеуматика масивни блокови омогућавају брзо одвођење воде без турбуленције и изузетну стабилност у кривини (слика 40). Предност је бољи контакт пнеуматика са путем, већа бочна стабилност, велика отпорност на аквапланинг, боље пријањање и прецизније управљање у кривинама.

На слици 36ђ) је „самоносива“ технологија (енгл. *DSST – Dunlop Self Supporting Technology*), позната као (енгл. *ROF – RunOnFlat*) технологија којом се обезбеђује мобилност чак и кад је пнеуматик празан. Патентираном конструкцијом бока пнеуматика Dunlop RunOnFlat максимално се ограничава увијање бочног зида и отклања опасност да се пнеуматик смакне са наплатака (слика 41). Предност је чак и кад се пнеуматик потпуно испразни, у нормалним условима вожње и са њим може да се вози још 82 km/h (50 миља) највећом брзином до 80 km/h (50 миља/h). [6]

Предности технологије Dunlop Runonflat (DssT):

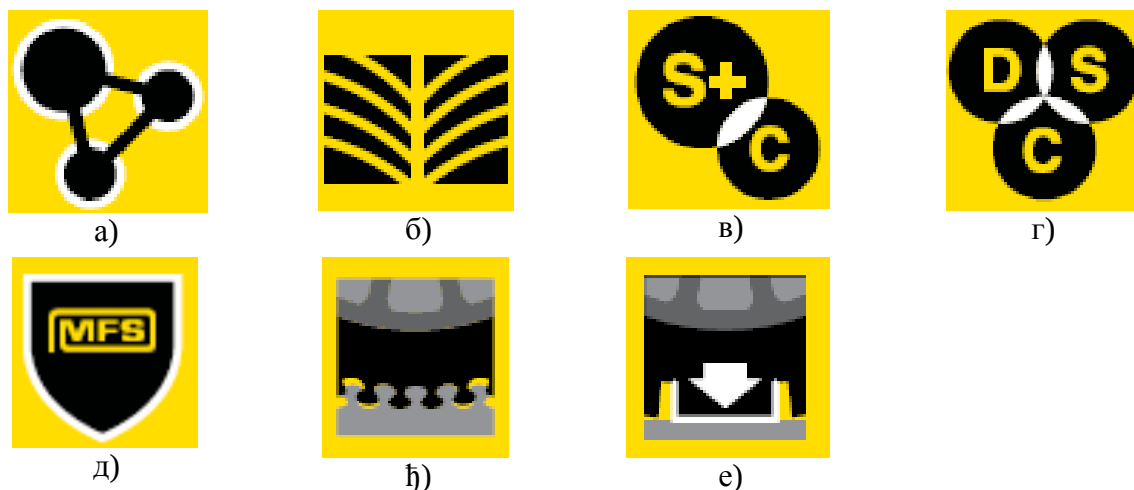
- патентирана конструкција бочне стране омогућава да пнеуматик носи тежину возила чак и ако је празан,
- специјална конструкција пнеуматика са новом гуменом смешом спречава да се пнеуматик уништи због велике деформације,
- чак и кад пнеуматик потпуно изгуби притисак, то не утиче на убрзавање, кочење и управљање возилом,
- непрекидна вожња до растојања од 80 km дозвољеном брзином до 80 km/h у нормалним условима вожње,
- пнеуматици Dunlop Runonflat (DssT) могу да се монтирају на било који стандардни наплатак (челични /алуминијумски) без посебног алата.



Слика 41 – Поређење стандардног и DssT пнеуматика [6]

Слика 36е) – (Hybrid Overlay Technology) хибридна технологија облагања (енгл. *Joint Less Belt – JLB*) којом се смањују деформације по ободу пнеуматика при великим брзинама. Бесконачан најлонски појас је под углом од 0° . Предности су при великим брзинама, равномерно је хабање и веома велика издржљивост.

Слика 36ж) Влакнаста каша „Кевлар“ у пунилу изнад језгра бочног зида пнеуматика која обезбеђује чвршћи бочни зид, нарочито при радној температури. Предност је бољи одзив на подлогу и прецизнија вожња.



Слика 42 – Технолошке иновације пнеуматика

На слици 42а) – нано честице, односно смеша газећег слоја са примесама нано честица чађи за тркачке пнеуматике. Смеша побољшана смолом и полимером је код пнеуматика за спортске мотоцикле доказала одлично пријањање на сувим и влажним путевима. Предности су одлично пријањање, прецизно кочење, боље пријањање на сувој и влажној подлози, теренима, мање хабање и бољи пренос сила управљања.

Систем познат као одвођење воде је приказан на слици 42б), (енгл. *Twin Hydro Paddle*) омогућава избацивање воде без турбуленције. Вода се одводи као код турбина, без ковитлања. Предности су изузетно велика отпорност на аквапланинг. Ковитлање воде је спречено како би њено одвођење у екстремним условима било ефикасније. Гумена смеша силика-плус потиче из мотоцикличког спорта и обезбеђује боље распршивање воде и одлично пријањање (слика 42в)). Предности су изузетне перформансе при кочењу и убрзавању, одлично пријањање и мало хабање.

Смеша са двоструком силиком има низак ниво хабања (слика 42г)) и одличним перформансама при убрзавању повећава ужитак у вожњи. Предности су убрзавање и врхунско кочење, одлична видљивост у летњим и зимским условима, добро пријањање, мало хабање и широк распон радних температура.

Максимална заштита наплата (енгл. *Maximum Flange Shield – MFS*) на слици 42 д) представља на доњем делу бочног зида пнеуматика, изнад наплата гумени заштитни профил за ублажавање удараца. Предности су да код заштите наплата којом се точкови од скупих легура штите од оштећења од ивичњака.

Прилагодљива смеша је технологија смеше за коју се користе полимери развијени за мото спорт како би смеша могла боље да се прилагођава структури површине пута, као на слици 42ђ). С обзиром да је бољи контакт на микро нивоу, побољшано је опште пријањање пнеуматика на пут, тако да су предности одлично пријањање и одличне перформансе при кочењу.

Блокови за ефикасније кочење (слика 42е)) су блокови велике чврстоће који одржавају крутост пнеуматика када на њега делују силе кочења. Повећана чврстина обезбеђује оптималан контакт пнеуматика са путем при кочењу у вожњи великом брзином. Предност је краћи пут заустављања, нарочито при вожњи великом брзином.



Слика 43 – Dunlop-ови летњи пнеуматици - sport Maxx RT

На слици 43 је приказан летњи пнеуматик који има иновативне карактеристике као што су прилагодљива смеша газећег слоја и његово пријањање као и нови блокови који повећавају ефикасност при кочењу и тиме скраћују пут заустављања, омогућавају бољу вожњу. [6] На слици 44 је дат приказ зимских пнеуматика и на доњој слици је: а) побољшана вуча на снегу и леду, б) надзор над возилом и пријањање у влажним условима, в) начин побољшања ефикасности у зимским условима, г) дизајн намењен уштеди горива.





Слика 44 – Dunlop зимске пнеуматици [6]

6.2. Goodyear пнеуматици

Предузеће Goodyear Tire & Rubber Company је основано 1898. године. Године 1904. су први на свету направили пнеуматик који може да се скине са точка. 1908. године произвели су пнеуматике за Модел Т Форд, први аутомобил у серијској производњи. 1934. године су лансирали Lifeguard – први пнеуматик који у случају изненадног губитка притиска одржава стабилност возила. Пнеуматици овог предузећа се од 1965. год. налазе на возилу које је прво постигло брзину од 600 mps - рекордну брзину до тада. 1971. год. пнеуматици Goodyear фирме су први достигли на Месец. [7]

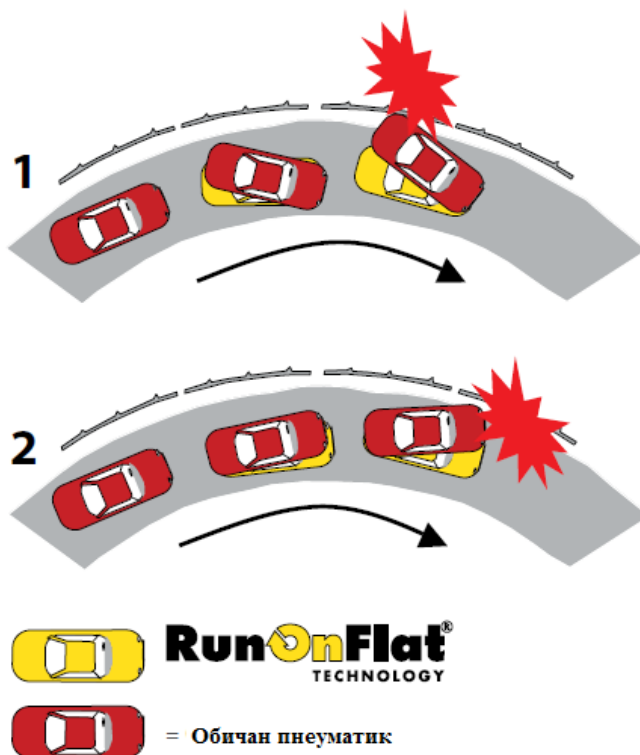
Године 1985. је почела испорука првих радијалних пнеуматика за комерцијалне авионе. 1993. год. је представљен Aquatred - први наменски пнеуматик за влажну подлогу. 1997. пнеуматици предузећа Goodyear Tire & Rubber Company су први освојили 350 великих награда на тркама Формуле 1. Године 2001. је изумељена BioTRED – смеша за пнеуматике ради очувања животне средине, на бази кукурузног скроба. 2005. год. је лансиран RunOnFlat (слика 45) – пнеуматик са којим може да се настави вожња чак и кад се он пробуши или потпуно изгуби притисак.



Слика 45 – Најновија генерација RunOnFlat [7]

- 1) Нова компонента отпорна на сабијање,
- 2) Нова конструкција са улошцима од рејона,
- 3) Нови облик и материјали за учвршћење бочног зида.
- 4) Нов облик налегања венца пнеуматика.

На слици 46 је дат приказ RunOnFlat пнеуматика који представљају много мање ситуација у којима возило почиње опасно да се заноси. Прва ситуација - пробušени задњи пнеуматици могу да изазову заношење возила; друга ситуација - пробušени предњи пнеуматици могу да изазову проклизавање возила.



Слика 46 – Пнеуматици ROF [7]



Слика 47 - Упоредни приказ обичног и RunOnFlat пнеуматика [7]

Године 2007. својим пнеуматиком Eagle F1 Asymmetric и његовом технологијом Active CornerGrip постављају се нови стандарди за високе перформансе. 2008. пнеуматиком OptiGrip уводи се револуционарна технологија SmartWear – са хабањем пнеуматика и појављују се нови канали и нова смеша, чиме се обезбеђује висок ниво перформанси у целом веку трајања пнеуматика.

Године 2009. је представљен нови EfficientGrip - пнеуматик који омогућава мању потрошњу горива без деградације својих перформанси кључних за сигурност. Док је нови Eagle F1 Asymmetric 2 са технологијом ActiveBraking и UltraGrip 8, представљен 2011. године - први пнеуматик са усмереним дезеном код којег је коришћена патентирана (слика 48) технологија 3D BIS (систем тродимензионалног преплитања блокова). [7]



Слика 48 - Технологија 3D BIS

Технологија 3D BIS (3 Dimensional - Block Interlocking System - Тродимензионални систем међусобног преплитања блокова) има боље пријањање, краћи пут заустављања и побољшану видљивост. На влажним и сувим путевима стабилност возила зависи од чврстине блокова газећег слоја пнеуматика. Код зимских пнеуматика, ради бољег пријањања на снегу и леду, користе се ламеле. Овим ламелама се сваки блок газећег слоја дели на више сегмената, захваљујући томе блок је флексибилнији, али је стабилност возила на влажним и сувим путевима зато мања. Револуционарном технологијом 3D BIS предузећа Goodyear сви елементи блокова се

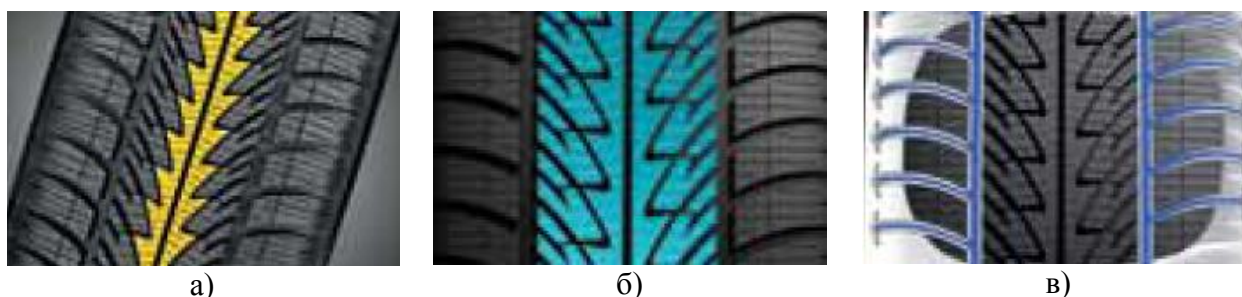
чврсто повезују чиме блокови постају крути, захваљујући томе возило је стабилније на влажним и сувим путевима, а возња удобнија и мање заморна. Овом технологијом је истовремено омогућен већи број ламела, зато се возило на снегу и леду боље држи пута. [7]

Током прошле године, 2012. при увођењу ЕУ ознака (слика 49) за пнеуматике ово предузеће има водећу улогу. Развија се пнеуматик направљен од обновљиве биомасе. Концептуални пнеуматик Biolsoprene™ је представљен у Копенхагену на Конференцији о климатским променама. Ове године је лансиран EfficientGrip Performance са оценом А за пријањање на влажној подлози.

OZNAKA EU ZA PNEUMATIKE		
		
C - F	B - E	66 - 72

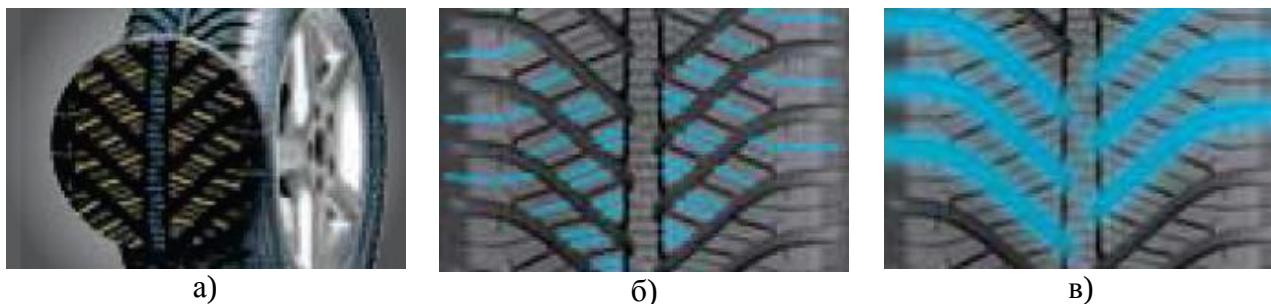
TEHNIČKI PODACI	
Širina	155 - 255
Serijski	70 - 45
Naplatak	13" - 18"
Indeks brzine	H, V

Слика 49 – Уведене ЕУ ознаке



Слика 50 - UltraGrip & Performance: а) поуздано управљање возила на снегу, б) одличне перформансе на леду, в) смањена опасност од аквапланинга

Како би било поуздано управљање возила на снегу пнеуматиком UltraGrip & Performance, на основу интеграције три различите врсте ламела, обезбеђује се ефикасно пријањање и кочење на сабијеном снегу. Као снежни плуг делује тестерасто централно ребро јер се урезује у снег на површини пута и тако остварује додатно пријањање пнеуматика. UltraGrip & Performance има велику површину налегања и тиме побољшава водљивост возила на леду. Добро пријањање и на ниским температурама обезбеђује смеша газећег слоја са силиком. Опасност од аквапланинга је смањена. У газећем слоју специјални хидродинамички канали брзо одводе воду испод пнеуматика и помажу да се одржи контрола над возилом на влажним и снежним путевима. [7]



Слика 51 – Vector 4Seasons: а) одличне перформансе током целе године, б) добра вуча у свим условима вожње, в) одговарајућ за животну средину

Goodyear-ова Weather Reactive Technology помаже да се пнеуматик Vector 4Seasons (слика 51) прилагођава променама које доносе годишња доба. Овај јединствени дезен (SmartTRED и Allweather смеша на бази силике) одликују три специфичне зоне газећег слоја које се прилагођавају условима на путу. Vector 4Seasons пнеуматик у свим условима представља добру вучу и има густо распоређене тродимензионалне ламеле, а самим тим је и боље пријањање на леду и снегу. Овај пнеуматик има ознаку „снежна пахуљица” што значи да испуњава стандарде који важе за зимске пнеуматике. Са мање горива се пређе више километара на основу пнеуматика који се лако котрља и може да се постигне већа километража због смеше за сва годишња доба и спљоштене контуре која обезбеђује равномерну дистрибуцију притиска на подлогу.

Газећи слој на пнеуматику се сматра истрошеним, односно пнеуматик технички неисправан, када дубина шаре опадне испод једног милиметра. Ради лакше контроле исправности газеће површине на дну шаре се налази изливен брег управо ове висине који показује ниво граничне истрошености пнеуматика.

6.3. Упоредна анализа пнеуматика и њихове предности и недостаци

Приказ анализе гума 185/60 R15 Н произвођача Goodyear и Dunlop, код сувих и влажних путева је дат у табели 1 за летње пнеуматике, док за зимске пнеуматике је приказано у табели 2. Овакви тестови су потребни да би се виделе, понекад врло мале разлике између пнеуматика различитих произвођача. За тест управљивости је битно да на сувој и влажној подлози не утичу специфичне реакције ослањања, где пнеуматик осваја доста бодова на таквим тестовима.

Табела 1 – Упоредна анализа летњих пнеуматика

Летњи пнеуматици 185/60 R15 Н (до 210 km/h)			
	Учешће при оцењивању	Dunlop Sport Blu- Response	Goodyear Efficient Grip Performance
СУВ ПУТ	20%	1.4	1.6
Управљивост	35%	1.5	1.5
Обезбеђивање сигурне вожње	35%	1.3	1.5

Кочење	30%	1.3	1.8
ВЛАЖАН ПУТ	40%	2.0	2.0
Кочење са АБС-ом	30%	2.1	2.0
Уздужни аквапланинг	20%	2.5	2.5
Попречни аквапланинг	10%	2.5	2.5
Покретљивост	30%	1.3	1.3
Повратна вожња – бочна покретљивост	10%	2.0	2.0
ЈАЧИНА	10%	3.2	3.4
Бука у кабини	50%	2.5	2.8
Спољашња бука	50%	3.9	4.1
ПОТРОШЊА ГОРИВА	10%	1.6	1.6
ОБРАДА	20%	2.5	2.3
УКУПНА ОЦЕНА	100%	2.1	2.1

Код Dunlop произвођача примећује се да је веома избалансиран пнеуматик са најбољим карактеристикама и у сувим и на влажним путевима, и има ниску потрошњу горива. Док код Goodyear произвођача, је такође добро избалансиран пнеуматик и има добре карактеристике на влажним путевима, а и на сувим и такође је ниска потрошња горива.

Табела 2 - Упоредна анализа зимских пнеуматика

Зимски пнеуматици 185/60 R15 T (до 190 km/h)			
	Учешће при оцењивању	Dunlop Winter Response-2	Goodyear UltraGrip B
СУВ ПУТ	15%	2.4	2.4
Управљивост	40%	2.0	2.0
Обезбеђивање сигурне вожње	40%	2.3	2.5
Кочење	20%	3.0	3.0
ВЛАЖАН ПУТ	30%	1.9	2.3
Кочење са АБС-ом	30%	1.9	2.3
Уздужни аквапланинг	20%	1.5	2.5
Попречни аквапланинг	10%	1.0	2.0
Покретљивост	30%	2.2	2.3
Повратна вожња – бочна покретљивост	10%	2.0	2.0
СНЕГ	20%	1.9	2.1
Кочење са АБС-ом	40%	2.3	2.3
Снага опреме	20%	1.8	1.8

Вожња по планинском путу	40%	1.5	1.9
ЛЕД	10%	2.2	2.5
Кочење са АБС-ом	60%	2.3	2.5
Бочна покретљивост	40%	2.0	2.5
ЈАЧИНА	5%	3.1	3.3
Бука у кабини	50%	2.8	2.8
Спољашња бука	50%	3.3	3.8
ПОТРОШЊА ГОРИВА	10%	1.5	2.0
ОБРАДА	10%	2.5	2.5
УКУПНА ОЦЕНА	100%	2.1	2.4

Код Dunlop произвођача примећује се да је веома избалансиран пнеуматик са најбољим карактеристикама на влажним подлогама, на снегу је најмања потрошња горива и добро се понаша на леду. Док, код Goodyear произвођача је избалансиран пнеуматик са веома dobrим својствима на снегу и dobrим карактеристикама на влажним путевима.

7. ЗАКЉУЧАК

Под појмом „точак возила“ подразумева се склоп наплата точка и пнеуматика. Точак је компактни механички уређај који врши трансмисију ротационих кретања, а и својим ротационим кретањем смањује трење. Пнеуматици омогућавају безбедност у вожњи. Они су главни и један од најважнијих делова на сваком моторном возилу.

Захваљујући пнеуматцима ублажује се додир са тлом по коме се креће моторно возило. Пнеуматици требају да буду у складу са прописаним условима, јер једино адекватни пнеуматици имају праву ефикасност и омогућују нам безбедност у саобраћају. Коефицијент оптерећења пнеуматика представља максималну дозвољену носивост сваког појединог пнеуматика на моторном возилу. Адекватно третирање пнеуматика омогућава и адекватну вожњу, јер претерана тежина може да угрози безбедност свих учесника у саобраћају. Пнеуматици утичу на понашање и управљивост, комфорта у вожњи и најважнија карактеристика је сигурност на сувом и влажном коловозу.

Примена точка је разноврсна и неизбежна су у скоро свим индустријама, а код моторних возила су одавно у употреби. Усавршавају се разним иновативним технологијама, као што је приказано у раду и требало би још и више да се побољшавају њихове карактеристике, како због безбедности саобраћаја, тако и због самих учесника у саобраћају.

На основу упоредне анализе пнеуматика зимских и летњих код два светска произвођача, примећују се њихове предности и мане. Предности Goodyear пнеуматика је да на влажном путу спада међу најбоље пнеуматике, посебно због кратког зауставног пута. Пнеуматик је достигао завидне резултате на тесту аквапланинга. Док су недостаци релативно дуг зауставни пут на сувом путу. Такође је и превелики отпор котрања.

Предности Dunlop пнеуматика, с обзиром да је новији производ фирме, има врло добро држање на влажном и сувом путу. Такође је и комфор одличан. Недостаци су предуг зауставни пут, посебно на влажном путу и лоше су особине при аквапланингу. Бука је релативно велика, као и отпор котрљања.

У суштини примећују се сличности ове две фирме и њихов подједнак квалитет пнеуматика и тешко се може рећи који је бољи и поузданији. Мада из неког угла досадашњих објашњавања и појашњавања у раду, већи утисак квалитетног пнеуматика оставља Goodyear фирма, јер се за нијансу њихов пнеуматик боље прилагођава условима пута, него код фирме Dunlop.

8. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.discountedwheelwarehouse.com/>, преузето са интернет странице 05.11.2013.
- [2] <http://veteran.auto.cz/osobnosti/zrozeni-pneumatiky-12-robert-william-thomson-john-boyd-dunlop/>, преузето са интернет странице 08.11.2013.
- [3] Демић М., Лукић Ј.: Теорија кретања моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [4] Симић Д.: Моторна возила, Научна књига, Београд, 1988.
- [5] Филиповић И.: Мотори и моторна возила, Машински факултет универзитета у Тузли, Тузла 2006.
- [6] http://www.dunlop.eu/dunlop_sr/tires/passenger/sp-ice-sport/, преузето са интернет странице 13.11.2013.
- [7] <http://www.goodyear.com/>, преузето са интернет странице 11.11.2013.