

# Pneumatici cestovnih vozila

---

**Milošević, Ema**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Šibenik University of Applied Sciences / Veleučilište u Šibeniku**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:143:157542>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-02**

*Repository / Repozitorij:*

[VUS REPOSITORY - Repozitorij završnih radova Veleučilišta u Šibeniku](#)



**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**  
**PROMETNI STUDIJ**  
**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ**

**Ema Milošević**

**PNEUMATICI CESTOVNIH VOZILA**

**Završni rad**

Šibenik, 2024.



**VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU**  
**PROMETNI STUDIJ**  
**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ**

**PNEUMATICI CESTOVNIH VOZILA**

**Završni rad**

**Kolegij:** Teorija kretanja vozila

**Mentor:** Luka Olivari, mag.ing.mech., viši predavač

**Studentica:** Ema Milošević

**Matični broj studentice:** 0135261035

Šibenik, srpanj 2024.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Ema Milošević. studentica Veleučilišta u Šibeniku, JMBAG 0135261035 izjavljujem i pod materijalnom i kaznenom odgovornošću i svojim potpisom potvrđujem da je moj završni rad na prijediplomskom stručnom studiju Promet pod naslovom “Pneumatici cestovnih vozila” isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog izvora te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Šibeniku, 06.09.2024.

Studentica:



---

(potpis)

## **PNEUMATICI CESTOVNIH VOZILA**

EMA MILOŠEVIĆ

Ulica Dragana Renje 5 a, Vrpolje 22000, milosevicema3@gmail.com

Ovaj završni rad analizira pneumatike cestovnih vozila, ističući njihovu ključnu ulogu u sigurnosti, udobnosti i učinkovitosti. Rad pokriva različite aspekte razvoja i proizvodnje pneumatika, od odabira sirovina do kontrole kvalitete. Proučavaju se glavni dijelovi pneumatika, uključujući koeficijent otpora kotrljanja i prijanjanja, koji utječu na performanse vozila. Isto tako istražen je i utjecaj pneumatika na potrošnju goriva, pri čemu se optimizacija otpora kotrljanja i prijanjanja ističe kao važan faktor u smanjenju potrošnje. Zaključak rada naglašava važnost pravilne selekcije, održavanja i inovacija u razvoju pneumatika, koji značajno doprinose sigurnosti i ekonomičnosti vožnje.

( 45 stranica / 3 slika / 0 tablica / 10 literaturnih navoda / jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u digitalnom repozitoriju Knjižnice Veleučilišta u Šibeniku

Ključne riječi: pneumatici koeficijent otpora kotrljanja, proizvodnja pneumatika

Mentor: Luka Olivari

Rad je prihvaćen za obranu dana: 06.09.2024.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Polytechnic of Šibenik

Batchelor Thesis

Department of Traffic Studies

Professional Undergraduate Studies of Traffic

### **TIRES OF ROAD VECHICLES**

EMA MILOŠEVIĆ

Ulica Dragana Renje 5 a, Vrpolje 22000, milosevicema3@gmail.com

This final thesis analyzes the tires of road vehicles, highlighting their key role in safety, comfort, and efficiency. The paper covers various aspects of tire development and production, from material selection to quality control. The main components of tires are examined, including the rolling resistance and traction coefficients, which impact vehicle performance. The impact of tires on fuel consumption is also explored, with the optimization of rolling resistance and traction highlighted as important factors in reducing fuel use. The conclusion emphasizes the importance of proper tire selection, maintenance, and innovation in tire development, which significantly contribute to driving safety and fuel efficiency.

(45 pages / 3 figures / 0 tables / 10 references / original in Croatian language)

Thesis deposited in Polytechnic of Šibenik Library digital repository

Keywords: tires, rolling resistance coefficient, tire manufacturing

Supervisor: Luka Olivari

Paper accepted: 06.09.2024.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PNEUMATICI CESTOVNIH VOZILA .....	2
2.1. Kotači cestovnih vozila .....	2
2.1.1 Čelični kotači .....	2
2.1.2. Aluminijski kotači .....	4
2.1.3. Kompozitni kotači .....	6
2.2. Vrste pogona .....	7
2.2.1 Prednji pogon.....	8
2.2.2. Stražnji pogon .....	9
2.2.3. Pogon na sva četiri kotača .....	10
2.3. Struktura kotača .....	11
3. PNEUMATICI CESTOVNIH VOZILA.....	14
3.1. Općenito o pneumaticima.....	14
3.1.1. Označavanje pneumatika .....	15
3.1.2. Materijal za izradu.....	16
3.1.3. Regrooving and rethreading .....	18
3.1.4. Pravilna pohrana pneumatika.....	19
4. FAKTORI I PROCESI KOJI UTJEČU NA PERFORMANSE PNEUMATIKA .....	21
4.1. Kotrljanje kotača .....	21
4.1.1. Koeficijent otpora kotrljanja .....	21
4.1.2. Koeficijent prijanjanja .....	23
4.1.3. Međusobni odnos koeficijenta otpora kotrljanja i koeficijenta prijanjanja .....	24
4.2. Suvremeni pneumatici .....	25
4.3. Pneumatici kao element sigurnosti vozila.....	26
4.3.1. Uloga pneumatika u sigurnosti vozila .....	27
4.3.2. Aktivni sustavi sigurnosti kretanja vozila.....	28
4.3.3. Kammov Krug Stabilnosti.....	29
4.4. Utjecaj pneumatika na potrošnju goriva.....	30
4.5. Način proizvodnje pneumatika.....	31
4.5.1. Sirovine i priprema materijala te process izrade pneumatika .....	31
4.5.3. Kontrola kvalitete i testiranje .....	32
5. ZAKLJUČAK .....	34



6. LITERATURA.....	35
7. PRILOZI.....	36
POPIS SLIKA.....	36

## 1.UVOD

Predmet ovog završnog rada je detaljna analiza pneumatika cestovnih vozila, s posebnim naglaskom na njihov razvoj, proizvodnju, funkcionalnost i utjecaj na sigurnost i učinkovitost vozila. Kroz razmatranje tehničkih aspekata kao što su koeficijent otpora kotrljanja i koeficijent prijanjanja, istražit će se kako različite vrste pneumatika utječu na performanse vozila u različitim uvjetima vožnje. Cilj rada je pružiti sveobuhvatan pregled ključnih čimbenika koji utječu na performanse i sigurnost pneumatika, te istaknuti važnost pravilnog odabira, održavanja i inovacija u njihovom razvoju. Također, rad ima za cilj objasniti kako suvremene tehnologije i materijali, te postupci proizvodnje doprinose poboljšanju karakteristika pneumatika, što na kraju dovodi do sigurnije, ekonomičnije i udobnije vožnje.

Ovaj rad je podijeljen u nekoliko tematskih cjelina koje sustavno obrađuju pneumatike cestovnih vozila. Uvodni dio rada definira predmet i cilj istraživanja, uz kratki pregled metodologije koja je korištena u prikupljanju i analizi podataka. Rad započinje s poglavljem o kotačima cestovnih vozila, gdje se detaljno opisuje osnovna funkcija kotača, različite vrste kotača poput čeličnih, aluminijskih i kompozitnih, te njihova uloga u različitim pogonskim sustavima vozila, uključujući prednji, stražnji i pogon na sva četiri kotača. Nakon uvodnih razmatranja, rad prelazi na strukturu pneumatika, gdje su analizirani glavni dijelovi poput gume i naplatka. U ovom dijelu obrađuju se različite vrste i podjele pneumatika, uključujući dijagonalne, radijalne, ljetne, zimske i univerzalne pneumatike, te specifične karakteristike niskoprofilnih pneumatika, s posebnim naglaskom na njihove prednosti i nedostatke. Treći dio rada bavi se procesom proizvodnje pneumatika. Opisuje se priprema i odabir sirovina, proces izrade, te kontrola kvalitete i testiranje gotovih proizvoda. Posebna pažnja posvećena je suvremenim inovacijama u industriji pneumatika, kao što su ContiSilent™ gume, koje doprinose smanjenju buke i poboljšanju udobnosti vožnje. U završnom dijelu rada, analiziran je utjecaj pneumatika na potrošnju goriva, pri čemu su optimizacija otpora kotrljanja i prijanjanja ključni faktori u smanjenju potrošnje.

## 2. PNEUMATICI CESTOVNIH VOZILA

### 2.1. Kotači cestovnih vozila

Kotač je jedan od najstarijih i najznačajnijih izuma u povijesti čovječanstva, s osnovnom funkcijom omogućavanja prijenosa mase vozila preko podloge uz minimalno trenje. Sastoji se od nekoliko ključnih dijelova, uključujući naplatak, središte (glavčinu) i pneumatiku (gumu). Ovi dijelovi zajedno omogućavaju kretanje vozila, prijenos snage s motora na podlogu te apsorpciju udaraca s ceste, čime se osigurava udobna i sigurna vožnja.

Uloga kotača u cestovnim vozilima je višestruka. Prije svega, kotač prenosi snagu iz motora na podlogu, omogućavajući kretanje vozila. Osim toga, kotači preuzimaju težinu vozila i prenose je na cestu, čime osiguravaju stabilnost i kontrolu nad vozilom. Također, kotači su ključni za upravljanje smjerom kretanja vozila, a njihov dizajn i raspored imaju značajan utjecaj na stabilnost vozila. Pneumatika kotača omogućava apsorpciju nepravilnosti ceste, smanjujući udarce i vibracije, što doprinosi udobnosti vožnje.<sup>1</sup>

Postoji nekoliko tipova kotača koji se koriste u cestovnim vozilima.

#### 2.1.1 Čelični kotači

Čelični kotači su tradicionalan izbor u automobilske industriji i široko su rasprostranjeni zbog svoje čvrstoće, izdržljivosti i relativno niske cijene. Izrađeni su od čelika, materijala koji je poznat po svojoj visokoj otpornosti na mehanička naprezanja, što ih čini otpornima na udarce i oštećenja prilikom vožnje po lošijim cestama ili prilikom prelaska preko rubnika.

Jedna od glavnih karakteristika čeličnih kotača je njihova težina. U usporedbi s aluminijskim i kompozitnim kotačima, čelični kotači su teži, što može utjecati na performanse vozila, posebno kada je riječ o ubrzanju, kočenju i ukupnoj dinamici vožnje. Veća masa kotača povećava tako zvanu "neovješenu masu" vozila, što može rezultirati nešto lošijom upravljivošću i većim

---

<sup>1</sup> Autor: Dinko Mikulić, *Motorna vozila - Teorija kretanja i konstrukcija*, III. Izdanje, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2020.

trošenjem goriva. Unatoč tome, čelični kotači su zbog svoje robusnosti često prvi izbor za vozila koja se koriste u teškim uvjetima ili u komercijalne svrhe, poput dostavnih vozila ili terenaca koji se koriste na zahtjevnijim terenima.

Čelični kotači imaju i estetske prednosti i nedostatke. S obzirom na to da se najčešće proizvode u jednostavnim dizajnima, manje su atraktivni u usporedbi s aluminijskim kotačima, koji su dostupni u širem rasponu stilova i završnih obrada. Zbog toga su čelični kotači često prekriveni plastičnim ukrasnim ratkapama kako bi se poboljšao njihov izgled.



XOFFROAD.WORLD

*Slika 1.. Čelični kotač , Izvor: <https://www.xoffroad-hrvatska.com/1540/steel-wheel-black-17x9/>*

Jedna od značajnih prednosti čeličnih kotača je njihova cijena. Zbog relativno jednostavne proizvodnje i dostupnosti materijala, čelični kotači su znatno jeftiniji od aluminijskih ili kompozitnih kotača. To ih čini atraktivnim izborom za proizvođače automobila koji žele smanjiti troškove proizvodnje, ali i za vozače koji traže povoljniju opciju prilikom zamjene kotača.

Osim toga, čelični kotači su izuzetno izdržljivi. Čelik kao materijal može podnijeti velike sile bez deformacija, što ih čini otpornima na udarce i oštećenja prilikom vožnje po lošim putevima ili u zimskim uvjetima. Zbog toga su čelični kotači često prvi izbor za zimske gume, jer su manje sklone oštećenju od aluminijskih kotača u uvjetima gdje su so i pijesak na cestama česti, što može uzrokovati koroziju.

Međutim, iako su čelični kotači otporni, sklone su hrđanju ako se zaštitni sloj boje ili premaza ošteti. Korozija može oslabiti kotač, ali redovito održavanje i premazivanje mogu znatno produžiti njihov vijek trajanja. Unatoč tome, njihova otpornost na mehaničke udarce i dalje je superiorna u usporedbi s drugim materijalima.

### 2.1.2. Aluminijski kotači

Aluminijski kotači popularan su izbor u modernoj automobilskoj industriji zbog svoje kombinacije estetske privlačnosti, lakše mase i poboljšanih performansi. Ovi kotači izrađeni su od aluminijskih legura, koje obično sadrže dodatke poput silicija, magnezija ili drugih metala sa svrhom poboljšanja čvrstoće, otpornosti na koroziju i drugih ključnih karakteristika.

Jedna od glavnih prednosti aluminijskih kotača je njihova lakša masa u odnosu na čelične kotače. Lakša masa smanjuje "neovješenu masu" vozila, što rezultira boljom upravljivošću, poboljšanim ubrzanjem, bržim reakcijama kočenja te općenito boljim voznim karakteristikama. Smanjenje težine kotača isto tako može doprinijeti manjoj potrošnji goriva, što je vrlo važno s obzirom na sve veću svijest o energetske učinkovitosti i ekološkoj održivosti.

Toplinska vodljivost aluminijske legure još je jedna prednost u odnosu na čelik. Aluminijski kotači bolje raspršuju toplinu koja nastaje prilikom kočenja, što može smanjiti rizik od pregrijavanja kočnica i poboljšati njihovu dugotrajnost. Ovo je posebno važno kod sportskih vozila ili u situacijama kada su kočnice izložene intenzivnijoj upotrebi, poput vožnje po planinskim cestama ili tijekom utrka.

Aluminijski kotači također nude brojne mogućnosti u pogledu dizajna i estetike. Zbog prirode aluminijske legure, kotači se mogu izrađivati u raznim oblicima i stilovima, od jednostavnih do vrlo kompleksnih, što omogućava njihovu personalizaciju i prilagodbu izgleda vozila prema željama vlasnika. Proizvođači često nude aluminijske kotače s različitim završnim obradama, poput poliranih, matiranih ili obojenih premaza, što dodatno povećava njihovu estetsku privlačnost.



*Slika 2. Aluminijski kotač, izvor: <https://hr.sushaforgedwheel.com/forged-wheels/2-piece-forged-wheels/for-rs4-rims-18-19-20-21-22-inch-2-pc-forged.html>*

Unatoč raznim prednostima, aluminijski kotači ipak imaju i nekoliko nedostataka. Jedan od njih je viša cijena u usporedbi s čeličnim kotačima. Zbog kompleksnijeg proizvodnog procesa i skupljih materijala, za aluminijske kotače uglavnom je potrebno izdvojiti više novca, što može predstavljati značajan trošak prilikom kupovine novih kotača ili zamjene postojećih.

Krhkost aluminija u usporedbi s čelikom također može biti problem u određenim situacijama. Iako su aluminijski kotači čvrsti, skloniji su puknućima ili deformacijama kod udarca, osobito tijekom vožnje po lošim cestama ili pri prelasku preko rubnika. Za razliku od čeličnih kotača koji se u većini slučajeva mogu jednostavno popraviti, oštećenja na aluminijskim kotačima najčešće zahtijevaju zamjenu cijelog kotača, što može biti skupo.

Aluminijski kotači osjetljiviji su na koroziju i oštećenja uzrokovana solju i kemikalijama koje se koriste za održavanje cesta tijekom hladnih zimskih mjeseci. Međutim, napredni premazi i zaštitni slojevi, koji se u današnje vrijeme često koriste, mogu značajno smanjiti rizik od korozije i produljiti vijek trajanja kotača.

Zbog svojih karakteristika, aluminijski kotači se često nalaze na sportskim automobilima, luksuznim i drugim vozilima kod kojih su performanse i izgled od velike važnosti. Njihova sposobnost da kombiniraju estetiku s funkcionalnošću čini ih popularnim izborom među vozačima koji žele poboljšati izgled svog vozila bez žrtvovanja performansi.

### 2.1.3. Kompozitni kotači

Kompozitni kotači najnoviji su razvoj u tehnologiji kotača za cestovna vozila, oni koriste napredne materijale i proizvodne tehnike kako bi ponudili niz prednosti u odnosu na tradicionalne čelične i aluminijske kotače. Izrađeni su od kompozitnih materijala, najčešće kombinacijom ugljičnih vlakana, plastičnih polimera i drugih visokotehnoloških komponenti. Ovi materijali omogućavaju kotačima postizanje iznimne čvrstoće, male mase i visoke otpornosti na različite vrste oštećenja.

Jedna od važnijih karakteristika kompozitnih kotača je njihova izuzetno mala masa. U usporedbi s prethodno opisanim čeličnim i aluminijskim kotačima, kompozitni kotači su znatno lakši, što prilično smanjuje "neovješenu masu" vozila. Smanjenje neovještene mase izravno doprinosi poboljšanju voznog iskustva, jer omogućuje brže ubrzanje, učinkovitije kočenje i bolju upravljivost vozila. Smanjena masa kotača također može doprinijeti boljoj energetskej učinkovitosti, na način da smanjuje potrošnju goriva i emisiju CO<sub>2</sub>.

Čvrstoća i otpornost na oštećenja kompozitnih kotača izuzetno su visoke, zbog svojstava ugljičnih vlakana koja se često koriste u njihovoj izradi. Ugljična vlakna imaju vrlo visoki omjer čvrstoće i mase, što znači da kompozitni kotači mogu podnijeti velike mehaničke sile bez deformacija ili pucanja. Isto tako, kompozitni materijali su otporni na koroziju, što ih čini dugotrajnijima i pouzdanijima u raznim vremenskim uvjetima. Otpornost na koroziju također znači da kompozitni kotači zahtijevaju manje održavanja u usporedbi s čeličnim ili aluminijskim kotačima.

Kompozitni kotači nude izvrsne mogućnosti prilagodbe dizajna. Zbog fleksibilnog materijala, proizvođači mogu kreirati kotače s jedinstvenim dizajnom, često prilagođene posebnim zahtjevima i željama kupaca. Upravo ovo čini kompozitne kotače posebno popularnima u svijetu luksuznih automobila i visokoperformansnih vozila, gdje je estetska vrijednost kotača jednako važna kao i njihove performanse.

Jedan od bitnijih aspekata kompozitnih kotača je njihova otpornost na toplinu. Ugljična vlakna imaju izvanredne termoizolacijske osobine, što znači da kompozitni kotači mogu izdržati visoke temperature bez gubitka svojih mehaničkih svojstava. To ih čini idealnim za upotrebu u uvjetima intenzivne vožnje, kao što su sportske aktivnosti ili vožnja u ekstremnim uvjetima, gdje se kotači mogu izložiti visokim temperaturama zbog kočenja ili trenja.

Iako kompozitni kotači imaju brojne pozitivne strane, jedan od glavnih nedostataka je njihova visoka cijena. Proizvodnja kompozitnih kotača zahtijeva sofisticirane proizvodne procese i skupe materijale, što rezultira značajno višim troškovima u odnosu na tradicionalne kotače. Ova visoka cijena ograničava dostupnost kompozitnih kotača što ih čini luksuznim proizvodom koji je najčešće rezerviran za vrhunske modele automobila ili specijalizirane primjene.

Drugi nedostatak kompozitnih kotača je njihova krhkost u određenim uvjetima. Iako su vrlo čvrsti i otporni na većinu mehaničkih oštećenja, kompozitni materijali mogu biti osjetljivi na udarce u određenim situacijama, poput ekstremnih hladnoća, gdje materijali mogu postati krhkiji. Također, iako su otporni na visoke temperature, njihovo ponašanje u uvjetima dugotrajne izloženosti visokim temperaturama ili kemijskim utjecajima još uvijek nije potpuno istraženo.

Kompozitni kotači su zbog svojih svojstava posebno pogodni za motorsport i visoko-performansna vozila, gdje se traži maksimalna učinkovitost i smanjenje mase vozila. Njihova upotreba u ovim područjima omogućuje postizanje boljih rezultata na trkaćim stazama, gdje svaka sekunda i svaki kilogram imaju ključnu ulogu.

## **2.2. Vrste pogona**

Pogon vozila jedan je od važnih elemenata koji određuje kako će se snaga motora prenijeti na kotače, a samim time i na cestu. Od izbora pogona ovisi dinamika vožnje, stabilnost, upravljivost, te sposobnost vozila da se nosi s različitim cestovnim i terenskim uvjetima. Razvoj tehnologije pogona pratio je evoluciju automobilske industrije, prilagođavajući se potrebama vozača i razvoju automobila kroz desetljeća. Postoje tri glavne vrste pogona koja se danas koriste u vozilima: prednji pogon, stražnji pogon i pogon na sva četiri kotača (AWD i 4x4). Svaka od ovih vrsta ima svoje pozitivne i negativne strane, njihova upotreba ovisi o tipu vozila, uvjetima vožnje i preferencijama vozača. <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Skupina autora: Tehnika motornih vozila, 30 prerađeno i nadopunjeno izdanje, Pučko otvoreno učilište Zagreb, Centar za vozila Hrvatske, Hrvatska obrtnička komora, Zagreb, 2015.



### 2.2.1 Prednji pogon

Prednji pogon, poznat kao FWD (Front-Wheel Drive), jedan je od najčešće upotrebljivanih sustava pogona u modernim vozilima, posebno u segmentu malih i srednjih vozila. U sustavu prednjeg pogona, snaga koju proizvodi motor prenosi se samo na prednje kotače, koji osim funkcije pogona preuzimaju i ulogu upravljanja vozilom. Ovaj sustav pogona vrlo je popularan zbog svojih brojnih prednosti, kao što su ekonomičnost, kompaktnost i učinkovitost u različitim uvjetima vožnje.

Tehnički gledano, prednji pogon koristi konfiguraciju u kojoj su motor, mjenjač i diferencijal smješteni u prednjem dijelu vozila. To omogućava učinkovit prijenos snage s motora na prednje kotače kroz kraće pogonske osovine, što dovodi do smanjenog gubitka energije i doprinosi ukupnoj učinkovitosti vozila. U većini slučajeva, motor je postavljen poprečno, što dodatno doprinosi kompaktnosti cijelog sustava i pruža mogućnost boljeg iskorištavanja unutarnjeg prostora vozila.

Prednji pogon nudi niz prednosti koje ga čine atraktivnim izborom za širok raspon vozila. Prvo, zbog kompaktnosti sustava, prednji pogon omogućuje više prostora unutar vozila, što je posebno važno kod manjih automobila. Nadalje, raspored težine s motorom smještenim iznad prednjih pogonskih kotača osigurava bolju trakciju, osobito u uvjetima slabog prljanja kao što su mokre ili snježne ceste. Ovo čini vozila s prednjim pogonom stabilnijima i sigurnijima u izazovnim vremenskim uvjetima.

Ekonomičnost je još jedan bitan faktor koji se odnosi na prednji pogon. Vozila s ovom vrstom pogona obično su jednostavnija za proizvodnju, što rezultira nižim troškovima proizvodnje i, shodno tome, nižom cijenom za krajnjeg potrošača. Osim toga, bitno je naglasiti da manja masa vozila doprinosi smanjenju potrošnje goriva, što je posebno važno u kontekstu ekološke osviještenosti i smanjenja emisije štetnih plinova.

Međutim, kod prednjeg pogona nailazimo i na neke nedostatke. Jedan od njih je tendencija prema podupravljanju, posebno pri ulasku u zavoje velikom brzinom. Podupravljanje se događa kada prednji kotači izgube prljanje, što rezultira širenjem putanje zavoja i otežava kontrolu nad samim vozilom. Ova pojava zahtijeva prilagodbu vozačevog stila vožnje, naročito pri sportskim manevrima.

Također, zbog koncentracije većine težine na prednjoj osovini, vozila s prednjim pogonom mogu imati neuravnoteženu raspodjelu mase, što može utjecati na upravljivost, osobito pri većim brzinama.

Prednji pogon se najčešće koristi kod gradskih automobila, kompaktnih vozila i obiteljskih limuzina, gdje su učinkovitost prostora, ekonomičnost i sigurnost na prvom mjestu. Iako prednji pogon nije optimalan za vozila visokih performansi ili za intenzivnu sportsku vožnju, on nudi dobru ravnotežu između praktičnosti, sigurnosti i troškova, čineći ga tako popularnim izborom među vozačima i proizvođačima automobila. Upravo zbog svih ovih razloga, prednji pogon ostaje jedan od najvažnijih i najrasprostranjenijih sustava pogona u današnjoj automobilskoj industriji.

### 2.2.2. Stražnji pogon

Stražnji pogon (RWD - Rear-Wheel Drive) je sustav pogona kod kojeg se snaga motora prenosi na stražnje kotače vozila. Ovaj sustav bio je tradicionalni izbor za mnoge automobile prije nego što su prednji pogon i pogon na sva četiri kotača postali popularni, a koristi se i danas u posebnim segmentima automobilske industrije zbog svojih karakteristika i prednosti.

Kod vozila sa stražnjim pogonom, motor je obično smješten na prednjoj strani vozila, dok snaga motora putuje duž pogonskog vratila prema stražnjim kotačima. Diferencijal na stražnjoj osovini kod ovog sustava omogućava stražnjim kotačima da se okreću različitim brzinama kada vozilo ulazi u zavoj, što je ključno za održavanje stabilnosti i kontrole vozila. Stražnji pogon često koristi uzdužno postavljene motore, što je karakteristično za sportske automobile i luksuzne limuzine.

Jedna od važnijih prednosti stražnjeg pogona je bolja raspodjela mase između prednje i stražnje osovine vozila. Zbog rasporeda snage na stražnje kotače, težina motora je koncentrirana na prednjoj osovini, dok se težina tereta i putnika prenosi na stražnju osovину. Ova raspodjela mase doprinosi boljoj ravnoteži vozila, što rezultira većom stabilnošću pri većim brzinama i poboljšanom upravljivošću. Stražnji pogon isto tako omogućuje bolje prijanjanje stražnjih kotača tijekom ubrzanja jer se dodatna težina prenosi na njih, čime se smanjuje mogućnost proklizavanja.

Upravljanje vozilom sa stražnjim pogonom pruža prednosti u vidu preciznosti i kontroliranju vozila, posebno u uvjetima visokih performansi. Prednji kotači kod ovog sustava obavljaju isključivo funkciju upravljanja, što omogućava bolju kontrolu u zavoju s obzirom na to da nisu opterećeni zadatkom prijenosa snage. Ovo čini stražnji pogon poželjnim za sportske automobile, gdje je bitno imati visok stupanj upravljivosti i dinamičnosti.

S druge strane, stražnji pogon ima i određene nedostatke. U uvjetima slabog prianjanja, kao što su mokre ili zaleđene ceste, stražnji kotači mogu imati problema s prianjanjem, što može dovesti do proklizavanja. Budući da su stražnji kotači odgovorni za prijenos snage na cestu, dok prednji kotači upravljaju, vozilo može imati problema s kontrolom u takvim uvjetima. Također, sustav stražnjeg pogona obično uključuje dodatne komponente poput pogonskog vratila i diferencijala na stražnjoj osovini, što može povećati troškove proizvodnje i održavanja vozila.

Stražnji pogon može i smanjiti prostor u unutrašnjosti vozila zbog dodatnih mehaničkih komponenti, što može biti nepovoljno za dizajn kompaktnijih vozila. Također, upravljanje vozilom sa stražnjim pogonom može biti zahtjevnije, najviše za neiskusne vozače, jer nepravilno upravljanje vozilom može dovesti do preupravljanja i zanošenja stražnjeg dijela vozila.

Unatoč ovim nedostacima, stražnji pogon je i dalje popularan u određenim segmentima automobilske industrije. Često se koristi u sportskim automobilima i luksuznim limuzinama zbog svojih performansi i sposobnosti da pruži dinamično iskustvo vožnje. Također, koristi se u teretnim vozilima i kamionima gdje su vučna snaga i učinkovitost pri prijenosu tereta ključni.

### 2.2.3. Pogon na sva četiri kotača

Pogon na sva četiri kotača, koji se obično označava kao AWD (All-Wheel Drive) i 4x4 (Four-Wheel Drive), sustav je pogona u kojem se snaga motora prenosi na sva četiri kotača vozila. Ovaj sustav značajno poboljšava stabilnost, osobito u izazovnim uvjetima vožnje kao što su skliske ceste, neravni tereni ili loše vremenske prilike.

AWD sustav je dizajniran za stalnu upotrebu i automatski prenosi snagu na sve kotače bez potrebe za intervencijom vozača. Moderni AWD sustavi obično koriste središnji diferencijal za raspodjelu snage između prednjih i stražnjih kotača. Postoje razne vrste AWD sustava, uključujući stalni AWD, u kojem su svi kotači stalno pogonjeni, te dinamički AWD, koji automatski prilagođava raspodjelu snage između prednjih i stražnjih kotača na temelju uvjeta vožnje. AWD sustavi vrlo često su korišteni u osobnim automobilima i crossoverima, gdje omogućuju bolju stabilnost i udobnost u svakodnevnim uvjetima vožnje.

4x4 sustav, s druge strane, često se koristi u terenskim vozilima i SUV-ima koji su namijenjeni za vožnju u ekstremnim uvjetima. Za razliku od AWD sustava, 4x4 sustav obično uključuje mogućnost ručnog uključivanja pogona na sva četiri kotača prema potrebi. Ovaj sustav nudi dvije osnovne konfiguracije: part-time 4x4 i full-time 4x4.

Part-time 4x4 sustavi omogućuju vozaču da aktivira pogon na sva četiri kotača kada uvjeti vožnje zahtijevaju dodatnu trakciju, dok u normalnim uvjetima pogon može biti samo na prednje ili stražnje kotače. Ovi sustavi često uključuju prijenosnu kutiju s opcijama za visoki i niski raspon, što omogućuje vozaču da prilagodi vozilo specifičnim uvjetima terena kao što su blato, snijeg ili kameniti teren.

Full-time 4x4 sustavi, poznati i kao stalni 4x4, uključuju pogon na sva četiri kotača, kao što i samo ime kaže, cijelo vrijeme. Ovi sustavi često koriste središnji diferencijal koji omogućuje razliku u brzini između prednjih i stražnjih kotača, što je bitno za očuvanje stabilnosti pri vožnji na cesti.

### **2.3. Struktura kotača**

Struktura kotača cestovnih vozila sastoji se od dva glavna dijela: pneumatik (ili guma) i felga (ili naplatak). Svaki od ovih elemenata igra ključnu ulogu u funkcionalnosti, performansama i sigurnosti kotača.

Pneumatik je dio kotača koji dolazi u izravni kontakt s cestom i pruža prijanjanje, udobnost vožnje i kontrolu vozila. Konstrukcija gume je složena i sastoji se od nekoliko ključnih slojeva.

Vanjski sloj, poznat kao gazni sloj, ima specifičan uzorak koji pomaže u odvajanju vode i povećava prijanjanje gume na cesti. Ovisno o vrsti gume, kao što su ljetne, zimske ili terenske, uzorak gaznog sloja može varirati kako bi se optimizirale performanse u različitim uvjetima vožnje.<sup>3</sup>

Ispod gaznog sloja nalazi se sloj od čeličnih ili sintetičkih vlakana. Ovaj sloj pruža čvrstoću i stabilnost gumi, pomažući joj da zadrži svoj oblik i povećava otpornost na oštećenja i habanje. Osim toga, strukturalni slojevi, smješteni između gaznog sloja i unutarnjeg sloja, omogućuju gumi da bude fleksibilna, ali i čvrsta, zahvaljujući kombinaciji sintetičkih vlakana i čeličnih žica koje doprinose cjelokupnoj čvrstoći i otpornosti na udarce. Na dnu gume nalazi se kamenčić, sloj koji osigurava hermetičnost i održava unutarnji tlak zraka. Održavanje odgovarajućeg tlaka u gumi ključno je za sigurnost i performanse vozila, iz razloga što omogućuje gumi da se prilagodi neravnostima ceste i pruža udobnost vožnje.

Felga je metalna komponenta na koju je montirana guma. Obično se izrađuje od čelika ili aluminija. Felge pružaju osnovnu strukturalnu podršku za gumu. Postoje različite vrste felgi, a njihov materijal može utjecati na performanse vozila. Čelične felge su često korištene zbog svoje izdržljivosti i niske cijene, dok aluminijske felge nude bolju estetiku i manju težinu, što može poboljšati performanse vozila. Felge od legura, poput magnezij ili aluminij-legura, nude kombinaciju čvrstoće i niske mase, što ih čini poželjnim za sportske i luksuzne automobile.

Felge dolaze u raznim oblicima, uključujući jednodjelne i višedjelne felge. Jednodjelne felge su izrađene od jednog komada materijala, dok su višedjelne felge sastavljene od nekoliko komponenata koje se spajaju, što omogućuje veću fleksibilnost u dizajnu. Dimenzije felge, uključujući promjer i širinu, ključne su za odabir odgovarajuće gume. Promjer felge se mjeri u inčima i utječe na veličinu gume koja se može montirati, dok širina felge utječe na performanse i stabilnost vozila. Središnji dio felge, gdje se montira na osovinu vozila, sastoji se od otvora za vijke i središnjeg vijka, koji moraju odgovarati specifikacijama vozila kako bi se osigurala pravilna montaža i sigurnost.

---

<sup>3</sup> Skupina autora: Tehnika motornih vozila, prijevod s njemačkog, HOK, Pučko otvoreno učilište Zagreb, 2006.

Kombinacija pneumatika i felge čini funkcionalnu cjelinu koja omogućava optimalnu izvedbu vozila. Felga pruža čvrstu osnovu za montažu gume i prenosi opterećenje s vozila na cestu, dok guma osigurava prijanjanje, udobnost i zaštitu felge od oštećenja. Pravilno odabrane i održavane felge i gume važne su za sigurnost i performanse vozila, a održavanje ispravnog tlaka u gumama, redovito provjeravanje stanja guma i felgi, te odabir pravih komponenti za specifične uvjete vožnje, bitni su za dugovječnost i učinkovitost kotača.

### 3. PNEUMATICI CESTOVNIH VOZILA

#### 3.1. Općenito o pneumaticima

Pneumatik, ili guma, je ključna komponenta kotača vozila, njegova je osnovna funkcija pružanje kontakta s cestom i time doprinosi prianjanju, udobnosti vožnje i upravljivosti vozila. Struktura pneumatika je vrlo složena i sastoji se od nekoliko glavnih dijelova, svaki s posebnim funkcijama.<sup>4</sup>

Pneumatik se može klasificirati prema vrsti konstrukcije i namjeni. Prema konstrukciji, pneumatik može biti dijagonalni, radijalni ili kombinirani. Dijagonalni pneumatik ima slojeve gume postavljene dijagonalno prema smjeru vožnje, što pruža dobru izdržljivost i otpornost na udarce, ali može imati lošiju stabilnost i upravljivost u usporedbi s radijalnim pneumatikom. Radijalni pneumatik, s druge strane, ima slojeve gume postavljene radijalno u odnosu na sredinu kotača, što poboljšava fleksibilnost, stabilnost i upravljivost. Kombinirani pneumatik spaja karakteristike oba tipa, ali se koristi samo u posebnim slučajevima.

Prema namjeni, pneumatik može biti ljetni, zimski ili univerzalni. Ljetne gume su dizajnirane za optimalne performanse u toplim i suhim uvjetima. Imaju profil koji poboljšava prianjanje na suhim i mokrim površinama. Zimske gume su prilagođene za hladne uvjete, uključujući snijeg i led. Imaju specijalan uzorak gaznog sloja i mekšu smjesu gume koja poboljšava prianjanje pri niskim temperaturama. Univerzalne gume nude kompromis između ljetnih i zimskih karakteristika, ali ne nude uvijek najbolje performanse u ekstremnim uvjetima.

Nisko profilni pneumatik ima manji visinski omjer u odnosu na širinu gume, što znači da su bočne stijenke gume kraće. Ovi pneumatici pružaju bolju upravljivost i stabilnost zbog manje deformacije pri vožnji, što je posebno korisno u sportskim vozilima i pri vožnji velikim brzinama.

---

<sup>4</sup> Autor: Franko Rotim, Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1991.

Međutim, nisko profilni pneumatik može imati i neke nedostatke, na primjer manju udobnost vožnje zbog manjeg sloja gume koji apsorbira udarce i povećanu sklonost oštećenju na neravnim površinama. Također, nisko profilni pneumatik može i povećano trošiti i imati manju otpornost na oštećenja od udaraca, što može utjecati na dugovječnost gume.

### 3.1.1. Označavanje pneumatika

Označavanje pneumatika je ključno za pravilno korištenje i održavanje guma na vozilima. Oznake pružaju važne informacije o dimenzijama, performansama i specifičnostima guma, čime pomažu u odabiru pravih guma za određene uvjete vožnje i vozila.

Na bočnoj strani pneumatika obično su istaknute osnovne dimenzije gume, koje uključuju širinu, visinski omjer, promjer naplatka te indeks opterećenja i brzinski indeks. Na primjer, oznaka 205/55 R16 91V označava da je širina gume 205 mm, visinski omjer 55% širine, promjer naplatka 16 inča, dok brojevi i slova na kraju označavaju maksimalno opterećenje koje guma može podnijeti i maksimalnu brzinu pri kojoj guma može raditi bez oštećenja.

Osim osnovnih dimenzija, pneumatik može imati i posebne oznake kao što su žute i crvene točkice. Žuta točkica označava mjesto na gumi koje je najslabije u smislu nerazmjernosti težine, a ova oznaka se koristi za usklađivanje gume s ventilom naplatka kako bi se postigla optimalna ravnoteža kotača. Crvena točkica označava mjesto najveće nerazmjernosti težine i treba se uskladiti s dijelom naplatka koji ima najmanje nerazmjernosti, također u cilju poboljšanja ravnoteže kotača i smanjenja vibracija tijekom vožnje.

RFID oznake, ili oznake za radio-frekvencijsku identifikaciju, predstavljaju modernu tehnologiju koja se koristi za praćenje i identifikaciju pneumatik. Ove oznake, obično su ugrađene unutar gume te koriste radio frekvencije za prijenos informacija kao što su serijski broj, datum proizvodnje i tehničke specifikacije gume. RFID oznake omogućavaju precizno praćenje stanja guma, pomažu u upravljanju flotom vozila, osiguravaju autentičnost proizvoda i omogućavaju brzu provjeru podataka što je vrlo korisno za tehničare i servisere.



Pored standardnih oznaka, neki proizvođači pneumatiku dodaju svoje specifične oznake i simbole koji mogu uključivati informacije o tehnologijama korištenim u proizvodnji guma, kao što su posebne smjese guma ili napredni uzorci gaznog sloja. Ove oznake pomažu u razlikovanju proizvoda i pružaju dodatne informacije o performansama i pogodnostima svake gume.

### 3.1.2. Materijal za izradu

Materijali za izradu pneumatika, proces proizvodnje i poznati proizvođači guma čine temelj za razumijevanje kvalitete i performansi guma. Pneumatik je složen proizvod koji zahtijeva pažljivo odabrane materijale i precizan proizvodni proces kako bi osigurala dugovječnost, sigurnost i učinkovitost.<sup>5</sup>

Osnovni materijali za izradu pneumatika uključuju prirodnu i sintetičku gumu, čelične žice, sintetička vlakna te siliku i druga punila. Prirodna guma, koja se dobiva iz kaučukovca, pruža izuzetnu fleksibilnost i otpornost na habanje. Sintetička guma, poput butadien-stirena i butil gume, dodaje se kako bi poboljšala otpornost na ekstremne temperature i povećala trajnost. Čelične žice, smještene u slojevima unutar gume, pružaju strukturalnu čvrstoću i stabilnost, pomažući tako da guma zadrži svoj oblik i otpor prema deformacijama. Sintetička vlakna, kao što su najlon i poliamid, koriste se za povećanje fleksibilnosti i izdržljivosti gume. Silika i druga punila dodaju se kako bi poboljšali prianjanje, posebno na mokrim površinama, i smanjili otpor kotrljanja, što rezultira većom gorivo-učinkovitošću. Proces proizvodnje pneumatika obuhvaća nekoliko ključnih koraka. Prvi korak je priprema smjese gume, gdje se svi materijali miješaju u velikim miješalicama kako bi se stvorila homogena smjesa. Ova smjesa se zatim zagrijava i oblikuje u različite komponente gume. Zatim slijedi izrada komponenti pneumatika, uključujući gazni sloj, bočne stijenke i unutarnje slojeve, koji se oblikuju prema specifičnim zahtjevima. Kada su svi dijelovi pripremljeni, oni se sastavljaju na posebnim strojevima.

---

<sup>5</sup> Skupina autora: Pneumatici kao elementi sigurnosti automobile, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2019.

Ovaj proces uključuje kombiniranje različitih slojeva i komponenti u konačni oblik gume. Nakon sastavljanja, gume se podvrgavaju procesima vulkanizacije i testiranja kako bi se osigurala njihova vrhunska kvaliteta i performanse.

Najveći i najpoznatiji proizvođači guma uključuju nekoliko globalnih tvrtki koje su poznate po svojoj inovaciji i kvaliteti. Među najistaknutijima su:

**Michelin:** Francuska tvrtka koja je poznata po svojoj širokoj paleti guma za različite vrste vozila, uključujući osobna vozila, kamione i motocikle. Michelin je poznat po svojim inovacijama u tehnologiji guma i kvaliteti proizvoda.

**Bridgestone:** Japanska kompanija koja je jedan od najvećih proizvođača guma na svijetu. Bridgestone nudi gume za osobna vozila, komercijalna vozila i motocikle, te je poznat i po svojoj posvećenosti istraživanju i razvoju.

**Goodyear:** Američka tvrtka koja nudi širok spektar guma za različite vrste vozila. Goodyear je poznat po svojoj povijesti inovacija i tehnologijama koje poboljšavaju performanse i sigurnost guma.

**Continental:** Njemački proizvođač guma koji je poznat po svojoj visokoj kvaliteti i tehnološkim rješenjima za poboljšanje performansi guma. Continental nudi gume za osobna vozila, komercijalna vozila i posebne aplikacije.

**Pirelli:** Talijanska tvrtka koja se ističe u proizvodnji guma za sportska vozila i luksuzne automobile. Pirelli je poznat po svojoj vrhunskoj tehnologiji i inovacijama koje poboljšavaju performanse vozila.

### 3.1.3. Regrooving and rethreading

Regrooving i rethreading su bitni procesi u održavanju pneumatika, koji omogućavaju produženje njihovog životnog vijeka i poboljšanje performansi. Ove tehnike su posebno korisne u komercijalnim vozilima gdje je trošak guma značajan, a njihovo održavanje može rezultirati značajnim uštedama.

Regrooving se odnosi na proces ponovnog oblikovanja gaznog sloja gume kako bi se poboljšala njena funkcionalnost i produžio vijek trajanja. Ovaj postupak uključuje uklanjanje sloja istrošenog gaznog sloja gume i obnavljanje njenog profila. Regrooving se najčešće primjenjuje na radnim gumama koje su još uvijek u dobrom stanju, ali su izgubile dio dubine šare.

Proces regroovinga započinje procjenom stanja gume, gdje se utvrđuje dubina postojećeg profila i opće stanje gume. Regrooving se može provesti isključivo ako guma ima dovoljno materijala kako bi novi profil mogao biti oblikovan bez ugrožavanja njezine strukture. Nakon procjene, guma se čisti od nečistoća, ulja i drugih tvari koje bi mogle smanjiti kvalitetu regroovinga.

Idući korak odnosi se na oblikovanje gaznog sloja pomoću specijaliziranih alata koji su dizajnirani za stvaranje određenih uzoraka i dubina šare. Ovi alati omogućuju obnavljanje profila gume i poboljšanje prianjanja na cesti. Nakon što je regrooving završen, guma se temeljito provjerava kako bi se osiguralo da je novi profil ispravno oblikovan i da guma ispunjava sve sigurnosne standarde.

Prednosti regroovinga uključuju produženje životnog vijeka gume, poboljšanje prianjanja na mokrim i skliskim površinama te smanjenje otpada jer se gume koriste duže. Međutim, postoje i ograničenja, regrooved gume mogu imati smanjene performanse u odnosu na nove gume, osobito u ekstremnim uvjetima, i nisu sve gume prikladne za ovu uslugu.

Rethreading, također poznat kao "retreading" ili "remoulding", je proces u kojem se stari gazni sloj gume uklanja i zamjenjuje novim. Ovaj proces omogućava gumi da se iznova upotrebljava nakon što je prvotno trošenje uzrokovalo značajno smanjenje dubine gaznog sloja. Rethreading se često koristi za gume koje su još uvijek u dobrom stanju, osim što su izgubile dio gaznog sloja.

Postupak rethreadinga započinje uklanjanjem starih slojeva gume, što može uključivati skidanje istrošenog gaznog sloja i čišćenje unutarnjih slojeva. Nakon što je stara guma pripremljena, novi sloj gume se nanosi i oblikuje prema specifikacijama. Ovaj novi sloj može sadržavati specijalne smjese gume i uzorke gaznog sloja koji su dizajnirani posebno za poboljšanje performansi i dugovječnosti.

Rethreading nudi nekoliko prednosti, na primjer značajnu uštedu u troškovima zamjene guma i smanjenje ekološkog otiska jer se smanjuje potreba za proizvodnjom novih guma. Također, omogućava ponovnu upotrebu guma koje su još uvijek u dobrom stanju osim gornjeg sloja. No, postoji i nekoliko nedostataka, kvaliteta rethreaded guma može varirati ovisno o procesu i korištenim materijalima, a performanse mogu biti inferiorne u odnosu na nove gume, posebno u uvjetima ekstremnog opterećenja.

Obje tehnike, regrooving i rethreading, omogućavaju učinkovitije upravljanje troškovima guma i resursima, a njihova primjena može značajno utjecati na dugovječnost i ekonomičnost guma u svakodnevnoj upotrebi.

#### 3.1.4. Pravilna pohrana pneumatika

Pravilna pohrana pneumatika ključna je za očuvanje njihovih performansi i dugovječnosti. Nepovoljni uvjeti skladištenja mogu dovesti do bržeg starenja, deformacija i smanjenja sigurnosti pneumatika, što može prilično negativno utjecati na učinkovitost i sigurnost vozila.<sup>6</sup>

Pneumatik treba pohranjivati na suhim i čistim mjestima. Vlažnost može uzrokovati razvoj plijesni i koroziju, dok prljavština može oštetiti površinu guma. Najbolje je gume skladištiti u zatvorenim prostorima poput garaža, skladišta ili drugih zaštićenih lokacija.

---

<sup>6</sup> Autor: Karlo Huzjak, Evo što znače cvene ili žute točkice na vašim automobilskim gumama, Hamza media d.o.o., 2023.

Temperatura u prostoru za pohranu također ima važnu ulogu. Pneumatik treba čuvati na umjerenim i stabilnim temperaturama. Ekstremne temperature, bilo visoke ili niske, mogu negativno utjecati na materijale gume. Visoke temperature mogu uzrokovati stvrdnjavanje i pucanje guma, dok niske temperature mogu uzrokovati krhkost i pucanje. Također, treba izbjegavati izravnu izloženost sunčevoj svjetlosti jer UV zračenje može uzrokovati starenje i degradaciju guma.

Način pohrane pneumatika ovisi o tome jesu li gume montirane na naplatke ili nisu. Ako su gume montirane na naplatke, treba ih pohranjivati vertikalno, na polici ili stalaku, kako bi se ravnomjerno rasporedila težina i izbjeglo deformiranje. Gume koje nisu montirane na naplatke trebaju se složiti jedna na drugu u ravnomjernim slojevima, bez prekomjernog pritiska. Treba izbjegavati nagnute ili horizontalne položaje, zato što to može uzrokovati deformaciju.

Pneumatik treba pohranjivati daleko od izvora kemikalija, kao što su goriva, ulja i otapala, koji mogu negativno utjecati na materijal gume. Osim toga, preporučuje se povremeno pregledavanje guma tijekom pohrane kako bi se osigurala njihova ispravnost i spremnost za uporabu.

Pravilnim skladištenjem pneumatika, ne samo da se produžuje njihov vijek trajanja, već se također osigurava njihova sigurnost i učinkovitost kada su ponovo montirane na vozilo.

## 4. FAKTORI I PROCESI KOJI UTJEČU NA PERFORMANSE PNEUMATIKA

### 4.1. Kotrljanje kotača

Kotrljanje kotača odnosi se na način na koji pneumatik interagira s površinom ceste dok se kotrlja. Ovaj proces uključuje dvije ključne stavke: koeficijent otpora kotrljanja i koeficijent prijanjanja.

Koeficijent otpora kotrljanja mjeri koliko otpora pneumatik pruža pri kotrljanju. Niži koeficijent otpora kotrljanja ukazuje na manji otpor i bolju učinkovitost goriva. Ovaj koeficijent ovisi o sastavu gume, strukturi, tlaku u gumi, temperaturi i stanju ceste. Optimalno održavanje i pravilno napuhane gume pomažu u smanjenju otpora kotrljanja.

Koeficijent prijanjanja označava koliko dobro pneumatik može prenijeti sile između vozila i ceste bez klizanja. Ovaj koeficijent je važan za stabilnost i upravljivost vozila, osobito u skliskim ili ekstremnim uvjetima. Ovisi o sastavu gume, uzorku gaznog sloja, temperaturi i stanju gume.<sup>7</sup>

#### 4.1.1. Koeficijent otpora kotrljanja

Koeficijent otpora kotrljanja je ključni parametar koji mjeri otpor koji pneumatik pruža tijekom kotrljanja, što direktno utječe na potrošnju goriva, udobnost vožnje i ukupnu efikasnost vozila. Ovaj koeficijent se definira kao omjer između sile otpora kotrljanja i vertikalne sile koja djeluje na kotač. U praksi, koeficijent otpora kotrljanja izražava koliko energije je potrebno za održavanje kretanja vozila.

---

<sup>7</sup> Babić, M., & Delić, D., Upravljanje vozilom i dinamika vozila. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2014.

Mjerenje koeficijenta otpora kotrljanja obično se provodi u specijaliziranim laboratorijskim uvjetima ili na testnim stanicama koje simuliraju uvjete ceste. Ovi testovi uključuju rotaciju pneumatika na valjku dok se mjeri otpor koji pneumatik pruža, uz pažljivo kontroliranje uvjeta poput temperature, tlaka i brzine. Takvi testovi omogućavaju precizno određivanje kako različiti faktori utječu na performanse gume.

Koeficijent otpora kotrljanja može značajno varirati zbog nekoliko ključnih čimbenika. Sastav gume igra presudnu ulogu, smjese koje uključuju specijalne materijale poput silike obično imaju manji otpor kotrljanja zbog smanjenja unutarnjeg trenja. Gume s većim udjelom prirodnog materijala mogu imati bolje performanse u smislu smanjenja otpora, dok sintetičke smjese mogu pokazivati različite rezultate. Struktura gume, uključujući dizajn i debljinu gaznog sloja, isto tako utječe na otpor kotrljanja. Gume s dubljim šarama i složenijim uzorcima mogu imati veći otpor zbog većeg trenja i deformacija.

Pritisak u gumi je još jedan važan faktor, nedovoljno napuhane gume povećavaju otpor kotrljanja zbog veće deformacije pri vožnji. S druge strane, pravilno napuhane gume smanjuju ovu deformaciju i pomažu u smanjenju otpora kotrljanja. Prekomjerno napuhane gume mogu smanjiti kontakt s cestom, što može dovesti do neravnomjernog trošenja i povećanja otpora. Temperatura također igra bitnu ulogu, visoke temperature mogu uzrokovati stvrdnjavanje gume, dok niske temperature mogu povećati krhkost. Optimalna temperatura omogućava gumama da zadrže svoju fleksibilnost i smanje otpor kotrljanja.

Stanje ceste također utječe na koeficijent otpora kotrljanja. Površine koje su hrapave i neravne mogu povećati otpor kotrljanja zbog većeg trenja i kontakta s cestom. Suprotno, glatke i ravne ceste obično omogućuju manji otpor. Razumijevanje koeficijenta otpora kotrljanja pomaže u optimizaciji performansi vozila, poboljšanju potrošnje goriva i smanjenju troškova održavanja.

#### 4.1.2. Koeficijent prianjanja

Koeficijent prianjanja je ključna stavka koja odražava koliko dobro pneumatik može prenijeti sile između vozila i ceste bez klizanja. Ovaj koeficijent je bitan za stabilnost, upravljivost i sigurnost vozila. Visok koeficijent prianjanja omogućava vozilu bolju kontrolu i stabilnost, posebno u zahtjevnim uvjetima kao što su mokri, skliski ili ledeni putevi.

Koeficijent prianjanja izražava se kao omjer između sile trenja koja se može prenijeti između pneumatika i ceste i vertikalne sile koja djeluje na kotač. To znači da što je veći koeficijent prianjanja, to je bolji kontakt između gume i ceste, što omogućava učinkovitije prenošenje sila i bolju kontrolu vozila.

Na koeficijent prianjanja utječu brojni čimbenici. Prvi i najvažniji faktor je sastav gume. Smjese gume koje sadrže specijalne aditive poput silike obično pružaju bolje prianjanje, posebno na mokrim i skliskim površinama. Silika povećava koheziju između gume i ceste, što poboljšava prianjanje.

Uzorak gaznog sloja također ima važnu ulogu, s obzirom da gume s dubljim šarama i složenijim uzorcima bolje odvede vodu i poboljšavaju prianjanje na skliskim površinama. Specijalizirani uzorci, kao što su oni dizajnirani za zimske uvjete, mogu značajno poboljšati performanse gume u određenim uvjetima, kao što su snijeg ili kiša.

Temperatura je još jedan važan faktor jer na niskim temperaturama guma može postati kruta, što smanjuje prianjanje, dok visoke temperature mogu uzrokovati da guma postane premekana, što također može negativno utjecati na stabilnost i kontrolu vozila. Optimalna temperatura omogućava gumi da zadrži svoju fleksibilnost i pruža najbolje prianjanje.

Pritisak u gumi također ima značajan utjecaj. Pravilno napuhane gume pružaju najbolju ravnotežu između kontakta s cestom i stabilnosti. Nedovoljno napuhane gume povećavaju kontakt s cestom, ali mogu uzrokovati neravnomjerno trošenje i smanjeno prianjanje. S druge strane, prekomjerno napuhane gume smanjuju površinu kontakta, što može smanjiti prianjanje i stabilnost vozila.



Stanje ceste je dodatni faktor koji može utjecati na prianjanje. Hrapave ili neravne površine mogu poboljšati kontakt i povećati prianjanje, dok glatke površine, posebno kada su mokre, mogu smanjiti prianjanje.

Za poboljšanje koeficijenta prianjanja i time performansi pneumatika, važno je odabrati gume koje su prilagođene specifičnim uvjetima vožnje. Redovito održavanje ispravnog tlaka u gumama i pravovremena zamjena istrošenih guma također mogu značajno poboljšati prianjanje.

#### 4.1.3. Međusobni odnos koeficijenta otpora kotrljanja i koeficijenta prianjanja

Koeficijent otpora kotrljanja i koeficijent prianjanja su dva ključna parametra koja bitno utječu na performanse pneumatika. Njihov međusobni odnos često uključuje određene kompromise, s obzirom na to da optimizacija jednog parametra može utjecati na drugi.

Koeficijent otpora kotrljanja predstavlja otpor koji pneumatik pruža dok se kotrlja. Niži koeficijent otpora kotrljanja pomaže u smanjenju potrošnje goriva i poboljšava ekonomičnost vozila. Međutim, gume koje su dizajnirane za minimalan otpor kotrljanja često imaju manju sposobnost prianjanja, što može smanjiti stabilnost vozila, uglavnom u zahtjevnim uvjetima poput mokrih ili skliskih cesta.

S druge strane, koeficijent prianjanja označava koliko dobro pneumatik može prenijeti sile između vozila i ceste bez klizanja. Gume koje su optimizirane za visoko prianjanje često imaju veći koeficijent otpora kotrljanja zbog specijaliziranih uzoraka gaznog sloja i materijala koji poboljšavaju kontakt s cestom. Ove gume pružaju bolju kontrolu i stabilnost, ali mogu povećati potrošnju goriva.

Kompromis između ova dva koeficijenta postaje očigledan kada se razmatraju različite potrebe i uvjeti vožnje. Na primjer, gume koje nude visok koeficijent prianjanja mogu biti idealne za vožnju u zimskim uvjetima ili po kišnim cestama, gdje je kontrola i stabilnost najvažnija. S druge strane, za svakodnevnu vožnju u umjerenim uvjetima, gume koje pružaju dobar kompromis između prianjanja i otpora kotrljanja mogu biti bolje rješenje, zato što omogućavaju bolju ekonomičnost goriva bez značajnog ugrožavanja sigurnosti.

## 4.2. Suvremeni pneumatici

Suvremeni pneumatici prolaze kroz značajne inovacije koje poboljšavaju njihove performanse, udobnost i sigurnost. Tehnološki napredak omogućava proizvođačima da zadovolje sve zahtjevnije potrebe vozača i prilagode se različitim uvjetima vožnje. Jedan od glavnih primjera inovacija u ovom području je tehnologija ContiSilent™ koju je razvila tvrtka Continental.<sup>8</sup>

Tehnologija ContiSilent™ fokusira se na smanjenje buke koja se prenosi u unutrašnjost vozila. Ova tehnologija koristi specijalan sloj materijala, najčešće poliuretanske pjene, koji se postavlja na unutarnju stranu gaznog sloja pneumatika. Ovaj sloj djeluje kao apsorber zvuka, smanjujući vibracije koje nastaju pri kontaktu pneumatika s cestom. Time se značajno smanjuje buka unutar samog vozila, čime se poboljšava udobnost vožnje i smanjuje umor vozača. Smanjena buka također doprinosi tišoj i ugodnijoj atmosferi unutar vozila, što je posebno korisno za luksuzna vozila te za duga putovanja.

Osim ContiSilent™ tehnologije, postoje i druge inovacije koje su oblikovale suvremeni razvoj pneumatika. Jedan od značajnih napredaka je razvoj run-flat guma. Ove gume omogućavaju vožnju i nakon što pneumatik izgubi tlak, zahvaljujući ojačanim bočnim zidovima koji podržavaju vozilo i omogućavaju vožnju do 80 kilometara brzinom od oko 80 km/h. Ova tehnologija poboljšava sigurnost i smanjuje potrebu za promjenom gume na cesti, što može biti vrlo korisno u hitnim izvanrednim situacijama.

Još jedna važna inovacija su inteligentni pneumatici, koji integriraju senzore za praćenje tlaka, temperature i stanja guma u stvarnom vremenu. Ovi senzori pružaju vozačima informacije o stanju njihovih guma i mogu upozoriti na potencijalne probleme prije nego što postanu ozbiljni, čime se znatno povećava sigurnost i dugovječnost pneumatika.

---

<sup>8</sup> Šimić, I., Sigurnost vozila: Tehnološki aspekti. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2018.

Ekološki aspekti isto imaju prilično važnu ulogu u razvoju suvremenih pneumatika. Proizvođači sve više upotrebljavaju materijale koji su ekološki prihvatljivi, poput biorazgradivih i recikliranih materijala, što pomaže u smanjenju utjecaja na okoliš. Također, povećana primjena silike u smjesama guma pomaže u smanjenju otpora kotrljanja i poboljšava potrošnju goriva, čime se doprinosi energetske učinkovitosti vozila.

Razvoj guma za različite uvjete vožnje, uključujući zimske, ljetne i cjelogodišnje gume, omogućava vozačima da odaberu optimalne gume za specifične uvjete, poboljšavajući performanse i sigurnost.

Sve ove inovacije u tehnologiji pneumatika doprinose boljoj kontroli, većoj udobnosti i smanjenju ekološkog utjecaja. Suvremeni pneumatici ne samo da poboljšavaju iskustvo vožnje, već i doprinose sigurnijim i održivijim cestama. Razvoj u ovom području neprekidno donosi nove tehnologije koje zadovoljavaju sve složenije potrebe vozača i prilagođavaju se različitim uvjetima vožnje.

#### **4.3. Pneumatici kao element sigurnosti vozila**

Pneumatici su ključni element sigurnosti vozila jer izravno utječu na upravljivost, stabilnost i sposobnost kočenja. Kao jedina točka kontakta između vozila i ceste, pneumatik igra presudnu ulogu u održavanju stabilnosti vozila i omogućavanju vozaču da kontrolira vozilo u različitim uvjetima vožnje. Kvalitetni pneumatici mogu značajno smanjiti rizik od prometnih nesreća pružajući bolje prijanjanje, smanjujući udaljenost kočenja i poboljšavajući udobnost vožnje. Upravo zato, pravilno održavanje i odabir pravih pneumatika ključni su za sigurnost na cesti.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Vučić G., Tehnologija guma i elastomera. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2016.

#### 4.3.1. Uloga pneumatika u sigurnosti vozila

Pneumatici igraju vitalnu ulogu u održavanju kontakta s cestom, što je bitno za stabilnost vozila. Kvalitetan pneumatik, sa odgovarajućim uzorkom gazećeg sloja i pravom količinom tlaka, omogućava optimalno prijanjanje na različite vrste cestovnih površina. Ovaj kontakt pomaže u održavanju kontrole nad vozilom, što je presudno za sigurnu vožnju, osobito u uvjetima poput mokrih, skliskih ili loše održavanih cesta. Ako pneumatik nije u dobrom stanju, može doći do smanjenja prijanjanja, što povećava rizik od proklizavanja i gubitka kontrole, što može dovesti do nesreće.

Upravlјivost vozila također je usko povezana s karakteristikama pneumatika. Pneumatik koji je u dobrom stanju omogućava precizno upravljanje i brzu reakciju na vozačeve upute. Ako su gume istrošene ili nepravilno napuhane, to može pogoršati manevarsku sposobnost vozila, otežavajući vozaču izbjegavanje prepreka ili prilagodbu brzine u kritičnim situacijama.

Kočenje je još jedna važna stavka gdje pneumatik igra presudnu ulogu. Pneumatik s dobrom sposobnošću prijanjanja može značajno smanjiti udaljenost kočenja, omogućavajući vozilu da se zaustavi brže i sigurnije. Na suprotnom kraju, pneumatik s niskim koeficijentom prijanjanja može povećati udaljenost kočenja, što može biti kritično u hitnim situacijama kada je brza reakcija potrebna za izbjegavanje nesreće.

Osim što doprinosi sigurnosti u smislu kontrole i kočenja, pneumatik također utječe na udobnost vožnje. Pneumatici s odgovarajućim dizajnom i kvalitetnim materijalima mogu apsorbirati udarce s ceste, smanjujući vibracije i šokove koji se prenose na vozilo. Ovo dovodi do poboljšanja udobnosti vožnje i smanjuje umor vozača, što može dodatno poboljšati sigurnost, jer vozač koji je manje umoran bolje reagira na promjene u uvjetima vožnje.

Pravilno održavanje pneumatika bitno je za očuvanje njihove sigurnosne učinkovitosti. Redovito provjeravanje tlaka, dubine gazećeg sloja i stanja pneumatika može pomoći u pravovremenom otkrivanju i rješavanju problema prije nego što postanu ozbiljniji.

#### 4.3.2. Aktivni sustavi sigurnosti kretanja vozila

Aktivni sustavi sigurnosti kretanja vozila ključne su tehnologije koje unapređuju sigurnost i stabilnost vozila tijekom vožnje, djelujući proaktivno kako bi spriječili nesreće i poboljšali kontrolu nad vozilom. Za razliku od pasivnih sustava sigurnosti, koji se aktiviraju samo u slučaju nesreće, aktivni sustavi kontinuirano prate i reagiraju na uvjete vožnje u stvarnom vremenu.

Jedan od najvažnijih aktivnih sustava sigurnosti je Antilock Braking System (ABS). ABS značajno poboljšava kontrolu nad vozilom tijekom kočenja sprečavajući blokiranje kotača. Kada sustav otkrije da se jedan ili više kotača počinju blokirati zbog prekomjernog kočenja, automatski regulira tlak kočenja. Ovo omogućava kotačima da zadrže kontakt s cestom, čime se povećava stabilnost vozila i vozaču se omogućava da bolje kontrolira vozilo u kritičnim situacijama. Ovaj sustav je posebno koristan na skliskim ili mokrim cestama gdje je rizik od proklizavanja veći.

Traction Control System (TCS) je još jedan ključan sustav koji pomaže u održavanju trakcije kotača i sprečava njihovo proklizavanje. Ovaj sustav koristi senzore za praćenje brzine rotacije svakog kotača. Ako senzor otkrije da se jedan ili više kotača okreću prebrzo, što može biti rezultat klizanja na skliskoj površini, TCS automatski smanjuje snagu motora i/ili primjenjuje kočenje na proklizavajuće kotače. Uz pomoć toga se poboljšava prijanjanje i stabilnost vozila, osobito pri ubrzavanju na skliskim ili neuređenim cestama.

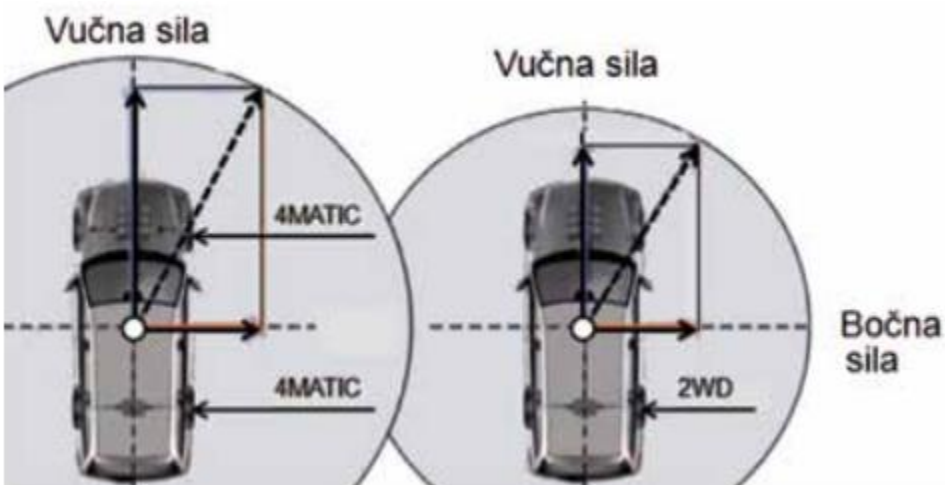
Electronic Stability Control (ESC) predstavlja napredni sustav koji pomaže u održavanju stabilnosti vozila, osobito kada vozilo postane sklono gubitku kontrole. ESC koristi različite senzore za praćenje kuta upravljača, brzine vozila i brzine rotacije kotača. Ako sustav otkrije da se vozilo počinje klizati ili gubiti stabilnost, ESC automatski intervenira primjenom kočenja na pojedine kotače i/ili smanjenjem snage motora kako bi vozilo vratilo u stabilan smjer. Ovaj sustav posebno pomaže u sprječavanju preokreta i gubitka kontrole, što poboljšava sigurnost u situacijama kao što su oštri zavoji ili nagli manevri.

Adaptive Cruise Control (ACC) je sustav koji automatski prilagođava brzinu vozila u odnosu na vozilo koje se nalazi ispred njega. Ako sustav prepozna da se vozilo ispred usporava, ACC će automatski smanjiti brzinu vozila kako bi održao sigurnu udaljenost.

### 4.3.3. Kammov Krug Stabilnosti

Kammov krug stabilnosti predstavlja važan tehnički alat za analizu i razumijevanje stabilnosti vozila pri vožnji, osobito tijekom skretanja i manevriranja. Ovaj koncept omogućava inženjerima i dizajnerima da ocjene kako različiti faktori utječu na stabilnost vozila i kako vozilo reagira na različite uvjete vožnje.

Kammov krug stabilnosti temelji se na grafičkom prikazu koji ilustrira odnose između bočnog ubrzanja vozila i njegovih kuta skretanja. Krug stabilnosti pokazuje koliko se vozilo može nagnjati u odnosu na svoj smjer kretanja bez gubitka kontrole. Ovaj krug prikazuje kako vozilo reagira na različite sile koje djeluju tijekom vožnje i kako različite varijable utječu na njegovu stabilnost.



Slika 3., Kammov krug stabilnosti , izvor: Dinko Mikulić, *Motorna vozila - Teorija kretanja i konstrukcija, III. Izdanje*

Jedan od ključnih elemenata Kammovog kruga stabilnosti je koeficijent prijanjanja. Koeficijent prijanjanja predstavlja sposobnost pneumatika da prenese bočne sile s ceste na vozilo. Visok koeficijent prijanjanja omogućava bolju kontrolu i stabilnost tijekom skretanja, dok nizak koeficijent može dovesti do proklizavanja i gubitka kontrole. U Kammovom krugu, koeficijent prijanjanja definira radijus kruga stabilnosti i prikazuje granice unutar kojih vozilo može održavati stabilnost.

Kut skretanja također je vrlo bitan u Kammovom krugu stabilnosti. Ovo je kut između smjera kretanja vozila i smjera u kojem je vozilo okrenuto. Veći kut skretanja može povećati rizik od gubitka kontrole, naročito ako vozilo ne može održati dovoljno bočne sile. Krug stabilnosti prikazuje kako različiti kutovi skretanja utječu na stabilnost i pokazuje granice unutar kojih vozilo može ostati stabilno.

Bočno ubrzanje još je jedan ključni faktor u analizi stabilnosti. Ovo su sile koje djeluju na vozilo u horizontalnom smjeru tijekom skretanja. Bočno ubrzanje ovisi o brzini vozila i kutu skretanja, te može uzrokovati da vozilo izgubi kontakt s cestom ako su sile prevelike za koeficijent prijanjanja koji pneumatik može podržati.

Primjena Kammovog kruga stabilnosti pomaže u dizajnu vozila i testiranju njihovih performansi. Omogućava inženjerima da razumiju kako vozilo reagira na različite uvjete i kako se može poboljšati njegova stabilnost kroz promjene u dizajnu pneumatika, ovjesa i drugih komponenti.

#### **4.4. Utjecaj pneumatika na potrošnju goriva**

Pneumatici igraju značajnu ulogu u učinkovitosti potrošnje goriva vozila. Njihov utjecaj na potrošnju goriva može biti značajan i različit, ovisno o nekoliko ključnih čimbenika.

Jedan od glavnih aspekata je otpor kotrljanja, koji se odnosi na energiju koju pneumatik troši za kretanje. Pneumatici s visokim otporom kotrljanja zahtijevaju puno više energije za prevladavanje trenja s cestom, što povećava potrošnju goriva. S druge strane, gume dizajnirane s niskim otporom kotrljanja mogu smanjiti ovu potrošnju, poboljšavajući ukupnu učinkovitost goriva.

Moderni pneumatici često su izrađeni s naprednim materijalima i tehnologijama kako bi smanjili otpor kotrljanja bez ugrožavanja sigurnosti ili performansi vozila.

Tlak u pneumaticima također je vrlo bitan jer nedovoljno napuhane gume povećavaju otpor kotrljanja iz razloga što se povećava površina koja dolazi u kontakt s cestom. To dodatno opterećuje motor i povećava potrošnju goriva. Redovito provjeravanje i održavanje pravilnog tlaka u pneumaticima može značajno poboljšati učinkovitost goriva. Pneumatici koji su pravilno napuhani omogućavaju lakše kotrljanje, čime se smanjuje potreba za dodatnom energijom, a time i potrošnja goriva.

Stanje i vrsta guma također utječu na potrošnju goriva. Istrošeni ili nepravilno trošeni pneumatici mogu povećati otpor kotrljanja i smanjiti učinkovitost goriva. Pored toga, različite vrste guma, poput ljetnih i zimskih, imaju različite karakteristike. Zimske gume, zbog specifičnih uzoraka gazećeg sloja i materijala, mogu imati veći otpor kotrljanja u usporedbi s ljetnim gumama, što može rezultirati većom potrošnjom goriva.

U konačnici, pravilno održavanje i izbor pneumatika ključni su za optimizaciju potrošnje goriva. Korištenje guma s niskim otporom kotrljanja, održavanje pravilnog tlaka i redovito provjeravanje stanja guma može značajno poboljšati učinkovitost goriva i smanjiti troškove vožnje.

## **4.5. Način proizvodnje pneumatika**

### **4.5.1. Sirovine i priprema materijala te process izrade pneumatika**

Proizvodnja pneumatika započinje odabirom i pripremom sirovina, što je važno za osiguranje kvalitetnog i dugotrajnog proizvoda. Glavni materijali korišteni u proizvodnji pneumatika su guma, čelične žice, tekstilna vlakna i različite kemijske komponente.

Guma, koja može biti prirodna ili sintetička, predstavlja osnovu za većinu pneumatika. Prirodna guma, dobivena iz lateksa, pruža izvanrednu elastičnost i otpornost na trošenje, dok sintetička guma, proizvedena kemijskim putem, omogućava prilagodbu određenim svojstvima poput otpornosti na ekstremne temperature i abraziju.



Ova guma se miješa s raznim kemikalijama kako bi se poboljšale njezine performanse. Na primjer, stabilizatori i antioksidansi koriste se za povećanje trajnosti, dok vulkanizatori poput sumpora pomažu u stvaranju čvrste strukture gume kroz kemijski proces poznat kao vulkanizacija.<sup>10</sup>

Osim gume, u konstrukciji pneumatika koriste se i čelične žice i tekstilna vlakna. Čelične žice, koje su prisutne u strukturama guma, pružaju dodatnu čvrstoću i podršku, pomažući održavanju oblika i stabilnosti pneumatika pod pritiskom. Tekstilna vlakna dodaju fleksibilnost i otpornost na različite vrste opterećenja.

Priprema materijala sastoji se od nekoliko ključnih koraka. Najprije, sirovine se miješaju u specijaliziranim miješalicama kako bi se stvorila gumena smjesa. Ova smjesa sadrži osnovne sastojke kao što su guma i čvrste tvari, zajedno s kemijskim aditivima koji poboljšavaju performanse. Nakon što se smjesa pripremi, slijedi oblikovanje gume u različite slojeve i komponente, uključujući gazni sloj, bočne zidove i potporne slojeve. Ovi slojevi, koji sadrže čelične žice i tekstilna vlakna, postavljaju se u strukturu pneumatika, pripremajući ga za daljnje faze proizvodnje.

#### 4.5.3. Kontrola kvalitete i testiranje

Kontrola kvalitete i testiranje su ključne faze u proizvodnji pneumatika, osiguravajući da svi proizvedeni proizvodi ispunjavaju visoke standarde sigurnosti i performansi. Ove faze obuhvaćaju detaljnu provjeru svih aspekata pneumatika, od sirovina do gotovih proizvoda, kako bi se osigurala njihova dugovječnost te učinkovitost.

Proces kontrole kvalitete započinje već pri odabiru same sirovine. Svi materijali, uključujući gumu, čelične žice i tekstilna vlakna, moraju zadovoljiti stroge uvjete kako bi se osigurala pouzdanost konačnog proizvoda. Ova provjera uključuje analizu kemijskog sastava sirovina te testiranje njihove čistoće i konzistentnosti.

---

<sup>10</sup> Petrović, Z., Utjecaj pneumatika na potrošnju goriva kod cestovnih vozila. Varaždin: Sveučilište Sjever, Odjel za cestovni promet, 2019.

Za vrijeme proizvodnje pneumatika, svaka faza izrade podložna je kontrolama. To uključuje nadzor tijekom miješanja gumene smjese, oblikovanja slojeva te sklapanja komponenti. Vizualne inspekcije, zajedno s preciznim mjerenjima dimenzija i ravnoteže, pomažu u identifikaciji i otklanjanju mogućih defekata ili nepravilnosti. Ova kontinuirana kontrola pomaže u očuvanju standarda kvalitete i osigurava da svi slojevi gume pravilno funkcioniraju kao cjelina.

Nakon što je pneumatik sklopljen i vulkaniziran, prelazi se na testiranje performansi. Ovdje se provode različiti testovi kako bi se provjerilo je li pneumatik sposoban za rad u stvarnim uvjetima. Testiranja sadrže provjere otpornosti na trošenje performansi pri različitim brzinama i u različitim uvjetima vožnje, kao i provjere otpornosti na visoke temperature. Pneumatici se testiraju za prianjanje na suhim i vlažnim površinama, što je važno za procjenu njihovih kočnih sposobnosti i upravljivosti.

Posebno važna su i dinamička testiranja koja simuliraju stvarne uvjete vožnje na testnim stazama i u laboratorijskim okruženjima. Ova testiranja pomažu u procjeni kako pneumatik reagira u različitim uvjetima, uključujući mokre i skliske površine te ekstremne temperature. Osim toga, provode se testovi izdržljivosti koji ocjenjuju dugovječnost pneumatika pod različitim opterećenjima i uvjetima.

Na kraju, svi pneumatici koji prolaze testove i kontrole dobivaju certifikate i oznake koje potvrđuju njihovu usklađenost sa sigurnosnim standardima i specifikacijama.

## 5. ZAKLJUČAK

Pneumatici cestovnih vozila igraju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti, udobnosti i učinkovitosti na cesti. Kroz sve aspekte njihovog dizajna i proizvodnje, od odabira sirovina do završne kontrole kvalitete, pneumatici se moraju prilagoditi posebnim zahtjevima i uvjetima vožnje kako bi ispunili sve potrebne standarde.

Proces proizvodnje pneumatika počinje već od odabira i pripreme sirovina, koje uključuju prirodnu i sintetičku gumu, čelične žice, tekstilna vlakna i kemijske aditive. Precizno miješanje i priprema ovih materijala ključni su za postizanje željenih karakteristika gume, kao što su elastičnost, otpornost na trošenje i dugovječnost. Slijedi oblikovanje i sklapanje gumenih slojeva, što zahtijeva visoku razinu preciznosti kako bi se postigla ravnoteža i optimalne performanse.

Nakon sklapanja, pneumatik se podvrgava procesu vulkanizacije, koji čini gumu čvrstom i otpornom na vanjske utjecaje. Ovaj bitan korak omogućava da pneumatik izdrži različite uvjete vožnje, uključujući visoke temperature i različita opterećenja. Kontrola kvalitete i testiranje, uključujući provjere sirovina, vizualne inspekcije, testiranja performansi i dinamička testiranja, osiguravaju da svaki pneumatik ispunjava visoke standarde sigurnosti i učinkovitosti. Certifikacija i označavanje konačno potvrđuju da pneumatik zadovoljava sve relevantne zahtjeve i norme.

Pneumatici su bitni i za sigurnost vozila, gdje njihova uloga kao kontaktne točke između vozila i ceste postaje očita. Koeficijent otpora kotrljanja i koeficijent prianjanja ključni su faktori koji utječu na potrošnju goriva i performanse vozila. Uvođenjem suvremenih tehnologija i materijala, poput ContiSilent™ guma, proizvođači nastoje poboljšati udobnost i smanjiti razinu buke, dok inovacije u dizajnu i materijalima omogućavaju bolju učinkovitost i dugovječnost.

Dakle, razumijevanje i pravilno upravljanje svim stavkama vezanim uz pneumatike, uključujući njihovu proizvodnju, kontrolu kvalitete, performanse i utjecaj na sigurnost i potrošnju goriva, ključno je za postizanje optimalnih rezultata. Pneumatici su složeni proizvodi koji zahtijevaju stalnu inovaciju i prilagodbu kako bi zadovoljili sve zahtjeve moderne vožnje i sigurnosti. S obzirom na važnost koju imaju za performanse vozila, njihova pravilna selekcija i održavanje od velike su važnosti za sigurnost na cesti i ukupno zadovoljstvo vozača.

## 6. LITERATURA

1. Autor: Dinko Mikulić, Motorna vozila - Teorija kretanja i konstrukcija, III. Izdanje, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2020.
2. Skupina autora: Tehnika motornih vozila, 30 prerađeno i nadopunjeno izdanje, Pučko otvoreno učilište Zagreb, Centar za vozila Hrvatske, Hrvatska obrtnička komora, Zagreb, 2015.
3. Skupina autora: Tehnika motornih vozila, prijevod s njemačkog, HOK, Pučko otvoreno učilište Zagreb, 2006.
4. Autor: Franko Rotim, Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 1991.
5. Skupina autora: Pneumatici kao elementi sigurnosti automobile, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2019.
6. Autor: Karlo Huzjak, Evo što znače cvene ili žute točkice na vašim automobilskim gumama, Hamza media d.o.o., 2023.
7. Vučić G., Tehnologija guma i elastomera. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 2016.
8. Babić, M., & Delić, D., Upravljanje vozilom i dinamika vozila. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2014.
9. Petrović, Z., Utjecaj pneumatika na potrošnju goriva kod cestovnih vozila. Varaždin: Sveučilište Sjever, Odjel za cestovni promet, 2019.
10. Šimić, I., Sigurnost vozila: Tehnološki aspekti. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2018.

## 7. PRILOZI

### POPIS SLIKA

Slika 1.. Čelični kotač , Izvor: <https://www.xoffroad-hrvatska.com/1540/steel-wheel-black-17x9/>

Slika 2., Aluminijski kotač, izvor: <https://hr.sushaforgedwheel.com/forged-wheels/2-piece-forged-wheels/for-rs4-rims-18-19-20-21-22-inch-2-pc-forged.html>

Slika 3. Dinko Mikulić, Motorna vozila - Teorija kretanja i konstrukcija, III. Izdanje