

Propisi i zahtjevi za izradu protektiranih guma

Ribić, Borna

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:820404>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-29**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Borna Ribić

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević, dipl. ing.

Student:

Borna Ribić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorici, prof. dr. sc. Suzani Jakovljević na svim savjetima i pruženoj pomoći tijekom pisanja završnog rada.

Posebno bih se zahvalio svojoj obitelji i prijateljima koji su mi bili velika podrška tijekom cijelog studija.

Borna Ribić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Borna Ribić**

JMBAG: **0035216647**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Propisi i zahtjevi za izradu protektiranih guma**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Regulations for retreaded tyres**

Opis zadatka:

Protektiranje ili obnavljanje guma je tehnologija kojom se stare korištene gume čine ponovno upotrebljivima mijenjajući istrošeni vanjski sloj (protektora) novim. Slično kao i nove gume, protektirane gume se mogu lako upotrebljavati na gotovo svim vrstama vozila neovisno o njihovoj masi i namjeni, međutim najviše se koriste kod teretnih vozila.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Dati pregled vrsta guma i navesti njezine osnovne dijelove.
- 2) Istražiti koje se grupe materijala primjenjuju za izradu guma.
- 3) Opisati postupke protektiranja guma.
- 4) Dati prikaz propisa i zahtjeva za izradu protektiranih guma.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Suzana Jakovljević

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. Vrste guma i osnovni dijelovi.....	2
2.1. Osnovni dijelovi gume i njihovi zahtjevi.....	2
2.2. Dijagonalna guma	4
2.3. Radijalna guma	5
2.4. Otpor kotrljanja	7
2.4.1. Primarni mehanizam formiranja otpora kotrljanja.....	8
2.4.2. Sekundarni mehanizmi formiranja otpora kotrljanja:	9
2.5. Prianjanje	9
2.5.1. Utjecaj neravnina podloge (histereze).....	9
2.5.2. Molekularna adhezija.....	10
3. Materijali za izradu guma	11
3.1. Polimeri u gumi.....	12
3.2. Punila	12
3.2.1. Čađa	13
3.2.2. Silicijev dioksid	13
3.3. Zaštitni sustavi	13
3.4. Vulkanizacijski sustavi	14
3.5. Ulja.....	14
4. Protektorski sloj gume	15
4.1. Smjesa protektora.....	15
4.1.1. Otpor kotrljanja kod različite tvrdoće protektora.....	16
4.1.2. Vučna sila kod različite tvrdoće protektora	17
4.2. Uzorak gazne površine.....	18
5. Postupak protektiranja guma	20

5.1. Nerazorna ispitivanja kod ispitivanja gume	21
5.1.1. Shearografija	21
5.1.2. Rendgenski uređaj	22
5.2. Proizvodni procesi protektiranja	22
5.2.1. Poliranje	23
5.2.2. Cementiranje	23
5.2.3. Montaža.....	24
5.2.4. Vulkanizacija protektora u kalupu (toplo protektiranje).....	25
5.2.5. Hladno protektiranje	26
6. Propisi i zahtjevi za izradu protektiranih guma	27
6.1. Oznake	27
6.2. Zahtjevi	32
6.2.1. Stanje guma prije protektiranja	32
6.2.2. Priprema	33
6.2.3. Protektiranje	33
6.2.4. Pregled	35
6.2.5. Ispitivanje performansi	35
6.2.6. Postupak ispitivanja izdržljivosti u zavisnosti od nosivosti i brzine.....	35
6.3. Specifikacije.....	37
6.3.1. Širina presjeka.....	37
6.3.3. Postupak mjerenja dimenzija protektirane gume [9]	38
6.3.4. Zahtjevi za širinu presjeka gume [9].....	38
6.3.5. Zahtjevi za vanjski promjer gume [9]	38
7. Zaključak	40

POPIS SLIKA

Slika 2.1.	Jezgra pneumatika [7]	3
Slika 2.2.	Radijalna guma za osobna vozila [8]	4
Slika 2.3.	Dijagonalni pneumatik [10].....	5
Slika 2.4.	Radijalni pneumatik [10].....	6
Slika 2.5.	Otisak dijagonalne i radijalne gume [7]	7
Slika 2.6.	Otpor kotrljanja [9].....	8
Slika 2.7.	Deformiranje gume na mjestu kontakta gume i podloge [9].....	8
Slika 2.8.	Otpor zraka u formiranju otpora kotrljanja [9].....	9
Slika 2.9.	Utjecaj neravnina podloge [12]	10
Slika 2.10.	Molekularna adhezija [12].....	10
Slika 3.1.	Uobičajeni sastav gume osobnih vozila [7].....	11
Slika 3.2.	Utjecaj punila na svojstva elastomera [4].....	12
Slika 4.1.	Otpor kotrljanja [9].....	16
Slika 4.2.	Vučna sila [1]	17
Slika 4.3.	Glisiranje [1].....	18
Slika 4.4.	Gazne površine za različite uvjete [1]	19
Slika 5.1.	Shearografija [17].....	21
Slika 5.2.	Koraci protektiranja istrošene gume [4]	22
Slika 5.3.	Nanošenje oblikovanog ekstrudiranog profila protektora [18]	24
Slika 5.4.	Toplo protektirana guma [19].....	25
Slika 6.1.	Indeksi opterećenja za određenu nosivost [9]	28
Slika 6.2.	Simboli brzine za odgovarajuću maksimalnu brzinu [9].....	29
Slika 6.3.	Nazivni promjeri naplatka [9]	29
Slika 6.4.	Indeksi i vrijednosti tlaka za ispitivanje izdržljivosti [9]	30
Slika 6.5.	Primjer oznaka na gumi [9]	31
Slika 6.6.	Debljina materijala radijalne gume [9].....	34
Slika 6.7.	Program ispitivanja izdržljivosti za gume s maksimalnom brzinom manjom od 150 km/h [9]	36
Slika 6.8.	Dimenzije gume [9].....	39

POPIS TABLICA

Tablica 3.1.	Usporedba svojstava čađe i silicijevog dioksida [4].....	13
Tablica 6.1.	Vrijednosti koeficijenta „c“ za različite gume [9]	39

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
p_{hr}	/	Masa tvari koja se dodaje smjesi od sto dijelova kaučuka
v	m/s	Brzina vozila
G_{V1}	N	Težina vozila
F_{N1}	N	Reakcija podloge
F_k	N	Ukupni otpor kotrljanja
r_d	m	Dinamički radijus kotača
ω	rad/s	Kutna brzina vrtnje kotača
a	m	Pomak hvatišta reakcijske sile
f_k	/	Faktor otpora kotrljanja
F_V	N	Vučna sila prenesena na podlogu
M_p	Nm	Moment doveden pogonskom kotaču
F_T	N	Sila trenja na mjestu kontakta i podloge
μ_a	/	Faktor trenja prijanjanja
G_a	N	Opterećenje kotača na pogonskoj osovini
φ	/	Rasprostranjenost kanala
A_u	m ²	Površina kanala
A	m ²	Ukupna površina gume
χ	/	Relativna dubina kanala
h	mm	Stvarna dubina kanala
h_0	mm	Dubina kanala nove gume
$P.D.$	mm	Dubina kanala protektirane gume
X	/	Linija poliranja
B	mm	Minimalna debljina originalnog materijala iznad pojasa nakon poliranja
A	mm	Prosječna debljina novog materijala ispod kanala
S	mm	Širina presjeka mjerena na mjernome naplatku
S_1	mm	Nazivna širina presjeka koju je naveo proizvođač
A_1	mm	Širina mjernog naplatka
A_2	mm	Širina teorijskog naplatka
K	/	Faktor za izračunavanje širine presjeka protektirane gume
D	mm	Teorijski vanjski promjer

d	mm	Nazivni promjer naplatka
H	mm	Nazivna visina presjeka
R_a	/	Nazivni omjer oblika
b	/	Koeficijent za računanje minimalnog vanjskog promjera gume
c	/	Koeficijent za računanje maksimalnog vanjskog promjera gume

SAŽETAK

Protektiranje je tehnološki postupak pri kojemu se istrošeni gazni sloj gume uklanja i na neoštećenu karkasu gume postavlja se novi. U prvom dijelu rada dan je pregled vrsta guma, osnovni dijelovi, te su prikazane grupe materijala koje se primjenjuju za izradu istih. U drugom dijelu, detaljnije je opisan protektorski sloj gume, kao i postupci protektiranja guma. Postupak protektiranja gume sastoji se od četiri glavne faze obrade, a to su poliranje, cementiranje, montaža i oblikovanje. Na kraju rada, prema ECE pravilniku R109, dan je prikaz propisa i zahtjeva za izradu protektiranih guma.

Ključne riječi: guma, protektiranje, gazni sloj, karkasa

SUMMARY

Retreading is a technological process in which a used tyre's worn tread is removed and a new tread is positioned on the undamaged tyre carcass. In the first part of the paper, tyre designs, main parts, and a group of materials, which are used for tyre manufacturing, are presented. In the second part, tread and the manufacturing process of retreading are described in more detail. Retreading process consists of four main processing stages, and these are buffing, cementing, building and moulding. At the end of this paper, according to ECE regulation R109, regulations for retreaded tyres are presented.

Keywords: tyre, retreading, tread, carcass

1. UVOD

Guma pripada grupi viskoelastičnih materijala čija je osnovna funkcija prijenos uzdužnih, bočnih i vertikalnih sila između vozila i ceste. [1] Smjesa gume ima jedinstvene karakteristike koje nisu pronađene kod drugih materijala, kao što su svojstva prigušivanja i histereza, visoka elastičnost te otpornost na abraziju. Radi sigurnosti, svojstva gume moraju biti što je više moguće konstantna, a samim time i predvidljiva vozaču. [2] Tijekom korištenja dolazi do trošenja gume čime se mijenja dubina kanala protektorskog sloja gume, a samim time i njezina svojstva. S vremenom dolazi do potpunog istrošenja vanjskog sloja gume te je potrebna zamjena. Ukoliko je karkasa zadovoljavajuće kvalitete, takva stara guma ne mora se zamijeniti novom, već je moguće tehnologijom protektiranja ili obnavljanja gume zamijeniti istrošeni vanjski sloj novim.

Protektiranje je proces kojim se, umjesto cijele gume, samo istrošeni protektirani sloj mijenja novim. Ovom metodom skida se karkasa gume koja ima dobru strukturnu kvalitetu i prolazi kroz proces u kojem dobiva potpuno novi gazni sloj i bočne stijenke gume. [3]

Oko 85-88% istrošenih guma može se obnoviti i upotrijebiti kao nove gume, i ako se pravilno održavaju, 80% karkasa može biti ponovno protektirano i korišteno. Ispravno protektirana guma može pružiti istu kilometražu, otpor kotrljanja i druga svojstva kao i nova guma. Također, protektirane gume podvrgnute su ispitivanjima, a njihova pouzdanost i sigurnost procijenjena je prema specifikacijama za automobilske, kamionske (terenska vozila) i zrakoplovne gume, međutim najviše se koriste kod terenskih vozila i zrakoplova. [4]

Najvažnije prednosti protektiranih guma su ekonomičnost i zaštita okoliša. Vrijednost protektirane gume je otprilike 40% manja u odnosu na ekvivalentnu novu gumu. Što se tiče zaštite okoliša, tehnologijom obnavljanja guma postiže se značajna redukcija emisije CO₂ što je izrazito bitno u današnje vrijeme klimatskih promjena. Protektiranje 100 guma daje uštedu od 5 tona materijala i time više od 6 tona CO₂ nije ispušteno u atmosferu. [5]

U ovom radu dan je pregled vrsta guma, osnovni dijelovi i njihova funkcija. Također, istražene su grupe materijala koje se primjenjuju za izradu guma, te su opisani postupci protektiranja guma i dan je prikaz njihovih propisa i zahtjeva.

2. Vrste guma i osnovni dijelovi

Prema konstrukciji gume se dijele na dvije osnovne vrste koje se nalaze na današnjem globalnom tržištu, radijalnu i dijagonalnu. Glavna razlika između radijalne i dijagonalne gume je u konstrukciji pojasa. Materijali armaturnih vlakna također se razlikuju što dovodi do promjena u funkcionalnim performansama gume. [6] Postojale su i druge konstrukcijske izvedenice, kao na primjer nanošenje prekriženog pojasa na dijagonalnu konstrukciju, ali niti jedna izvedenica u konačnici nije bila uspješna. [7] Također razlikuju se gume sa zračnicom i bez zračnice. Gume sa zračnicom koriste se samo za dvokotače i gospodarska vozila dok se gume bez zračnice koriste za osobna vozila. [8]

2.1. Osnovni dijelovi gume i njihovi zahtjevi

Osnovni dijelovi gume, kao što je prikazano na slici 2.1., su [8]:

- gazna površina
- međusloj
- pojas i najlonski ovoj
- bočne stijenke (bočnice)
- nepropusni gumeni sloj
- noga gume, jezgra noge i ojačanje noge
- jezgreni umetak
- karkasa (armaturno tkanje)

Gazna površina – komponenta gume koja je u kontaktu s podlogom stoga treba pružati dobru otpornost na trošenje, dobre vučne karakteristike i dobru otpornost na oštećenja. [7]

Međusloj – komponenta ispod gazne površine koja je konstruirana kako bi osigurala dobru adheziju između gazne površine i karkase gume i rasipanje energije u obliku topline s gaznog sloja. [7]

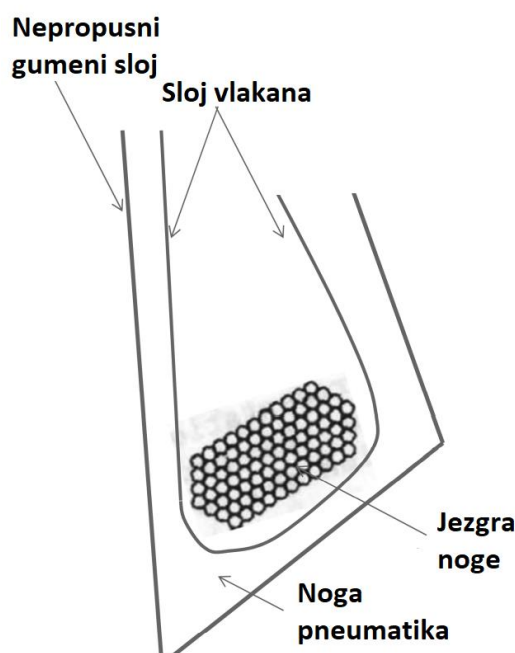
Najlonski ovoj – rubna zaštita pojasa koja, umjesto od najlona, može biti napravljena i od rajona. [2]

Bočne stijenke (bočnice) – pružaju dugotrajnu zaštitu od vremenskih uvjeta i izdržljivost karkase. Također, štite gumu od udaraca i ogrebotina. Od bočnica se zahtjeva dobra otpornost na umor i otpornost na pucanje uslijed savijanja. [7]

Nepropusni gumeni sloj – membrana koja se sastoji od složenog kaučuka niske propusnosti, kao što je bromobutilni kaučuk ili klorobutilni kaučuk. Funkcija nepropusnog gumenog sloja je zadržavanje stlačenog zraka unutar pneumatika. Sloj se uobičajeno proteže od jedne strane jezgre do druge, čime se osigurava brtvljenje. [7]

Područje jezgre – jezgra pneumatika služi kako bi pričvrstila gumu za naplatak, a sastoji se od sljedećih komponenata: [7]

- 1) Jezgreni umetak – komponenta iznad jezgre, koja popunjava prostor između unutarnjeg sloja vlakana i zaokreta tog sloja oko jezgre. To je uobičajeno čvrsti spoj koji doprinosi stabilnosti jezgre. Veće gume ponekad imaju dva jezgrena umetka.
- 2) Noga pneumatika – vrlo čvrsti spoj na granici između gume i naplatka. Njena funkcija je spriječiti proklizavanje naplatka i održati dimenzijsku stabilnost donjeg područja jezgre.
- 3) Jezgra noge – učvršćuje sloj vlakana.



Slika 2.1. Jezgra pneumatika [7]

Ojačanje noge – komponenta koja popunjava prostor ispod pojasa, sloja vlakana i bočne stijenke. Uobičajeno je napravljena od prirodnog kaučuka i čađe i, iako ima visoku tvrdoću, treba biti konstruirana da osigura dobru adheziju s bočnom stijenkom, slojem vlakana i pojasom. [7]

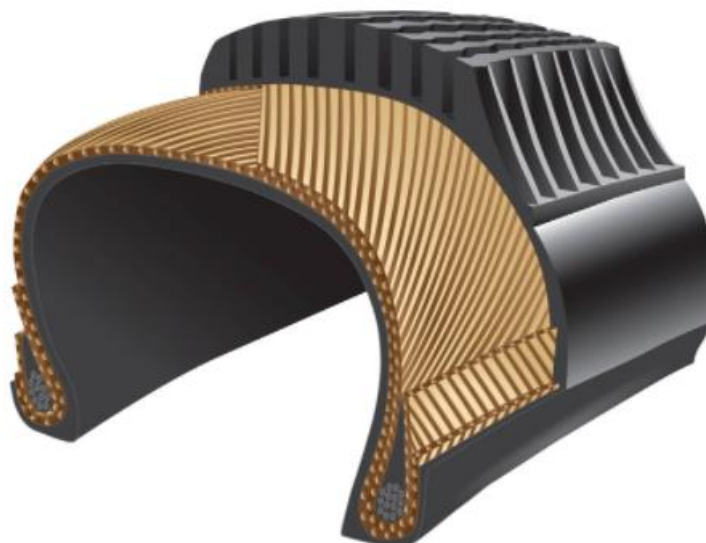
Karkasa – strukturni dio pneumatika ispod gazne površine i bočne stijenke gume koji, kada je guma napuhana, nosi opterećenje. [9]



Slika 2.2. Radijalna guma za osobna vozila [8]

2.2. Dijagonalna guma

U dijagonalnoj konstrukciji pneumatika, armaturna vlakna nanose se u dijagonalnoj konfiguraciji protežući se od jedne strane jezgre do druge, te zatvaraju kut od 20 do 40 stupnjeva (kut vlakana) s uzdužnom osi gume. S manjim kutom vlakana guma postaje tvrđa te se povećava bočna stabilnost, a moguće je postizanje viših maksimalnih brzina (povećanjem brzine vožnje kut vlakana nastoji se smanjiti i nastaje deformacija i zagrijavanje profila gume). [8] Svaki sljedeći sloj vlakana nanosi se u suprotnom smjeru u odnosu na prethodna što rezultira mrežom slojeva postavljenih u suprotnom smjeru. Slojevi vlakna učvršćena su jezgrom noge. Na većim pneumaticima može biti više jezgri, ovisno o broju korištenih slojeva u konstrukciji gume. [7] Dijagonalna konstrukcija gume proizvodi se još od početka industrije guma te se i dalje upotrebljava u dijelovima svijeta, primarno za terenska, gospodarska i zrakoplovna vozila, a i na nerazvijenim cestovnim sustavima. Kod kamiona, s bruto masom vozila od 10 do 40 tona, dijagonalni pneumatici mogu nadjačati moderne radijalne pri terenskim uvjetima, radi njihove sposobnosti kotrljanja preko kamenja i ostalih grubih površina. Na slici 2.3. prikazana je dijagonalna konstrukcija gume. [7]



Slika 2.3. Dijagonalni pneumatik [10]

2.3. Radijalna guma

Konstrukcija radijalne gume nastala je 1946. godine (Michelin i Citroen) te predstavlja standard za današnja cestovna vozila. [8] Armaturna vlakna radijalne gume zatvaraju kut od 90° s uzdužnom osi gume odnosno sa smjerom vožnje. Sloj armaturnih vlakna u osobnim vozilima uobičajeno je izrađen od poliestera, dok se za terenska vozila upotrebljava čelična žica koja pruža dobru otpornost na umor. [7] Na slici 2.4. prikazana je radijalna konstrukcija pneumatika.

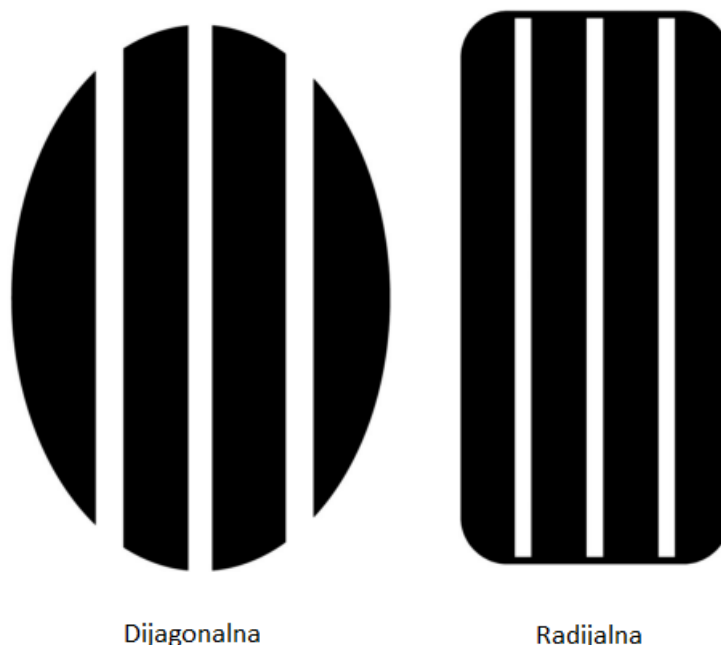


Slika 2.4. Radijalni pneumatik [10]

Između vanjskoga sloja (protektora) i sloja radijalnih vlakana su pojasevi od čelične žice oblikovani u kruti kompozitni obruč koji savija sloj vlakna, ali postiže čvrstu podlogu za gazni sloj, stvarajući time ravan otisak. Na taj način radijalna guma ima elastičniju karkasu i postiže bolju stabilnost otiska gaznog sloja u odnosu na dijagonalnu, što je prikazano na slici 2.5., i bolja svojstva trošenja, vuče, otpora na kotrljanje i upravljanja. U usporedbi s dijagonalnom konstrukcijom gume, radijalna ima sljedeće prednosti: [7]

- manji otpor kotrljanja,
- bolja vuča radi ravnijeg otiska i fleksibilnijih bočnih stijenki,
- manja emisija buke pri velikim brzinama,
- obnovljivost,
- bolja otpornost na trošenje protektora zbog manjeg izvijanja ili bočnog ribanja, kao rezultat ravnog čeličnog pojasa ispod gaznog sloja,
- veća nosivost (bolja učinkovitost),
- niže radne temperature što neizravno doprinosi manjem otporu kotrljanja i većoj uštedi goriva,
- fleksibilna karkasa, što dovodi do poboljšane karakteristike prigušivanja, a samim time i bolje udobnosti vozača,

Za razliku od radijalnog sloja žičanih vlakana, vlakna pojasa su kruta s malom rastezljivošću. Broj pojaseva ovisit će o tipu gume. Kod osobnih vozila su uobičajeno dva pojasa, kod kamiona četiri, a kod velikih terenskih vozila ili bagera šest pojaseva.

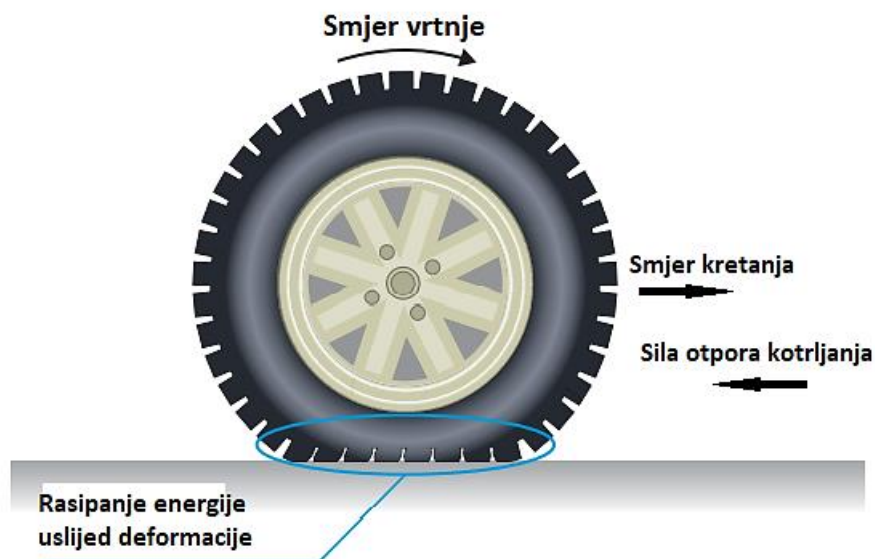


Slika 2.5. Otisak dijagonalne i radijalne gume [7]

2.4. Otpor kotrljanja

Otpor kotrljanja posljedica je gubitaka energije nastale radi neprekidnog deformiranja gume kotača tijekom kotrljanja po podlozi. [11] Glavni razlog rasipanja energije je viskoelastičnost materijala od kojeg je guma napravljena. Viskoelastični materijali gube energiju u obliku topline prilikom svake deformacije. Tako izgubljena energija rezultira silom koja se opire rotaciji gume i posljedično kretanju vozila. [12]

Na iznos otpora kotrljanja utječu: brzina vožnje, masa vozila, karakteristike gume, stanje površina kolnika, geometrija ovjesa, stanje kočnica, trenje u ležajevima... [11]



Slika 2.6. Otpor kotrljanja [9]

2.4.1. Primarni mehanizam formiranja otpora kotrljanja

Deformiranje pneumatika na mjestu kontakta gume i podloge. Tijekom kotrljanja gume po podlozi dolazi do stalnog deformiranja dijelova gume zbog savojnog, vlačnog i tlačnog opterećenja što je prikazano na slici 2.7. U ukupnom otporu kotrljanja udio deformiranja iznosi i više od 90%. [11]



Slika 2.7. Deformiranje gume na mjestu kontakta gume i podloge [9]

2.4.2. Sekundarni mehanizmi formiranja otpora kotrljanja:

Otpor zraka – kanali na gaznoj površini gume utječu na vrtloženje struje zraka koja okružuju gumu što je prikazano na slici 2.8. Udio ovog mehanizma formiranja otpora kotrljanja iznosi najviše 15% i raste s brzinom vožnje i dimenzijama gume. [11]



Slika 2.8. Otpor zraka u formiranju otpora kotrljanja [9]

Mikro klizanje – radi kotrljanja ovaj mehanizam se javlja između elemenata kontaktne površine gume i podloge. Mikro klizanje se isto tako može javiti i između naplatka i gume. U slučaju pravocrtne vožnje bez ubrzavanja ili kočenja udio mikro klizanja manji je od 5% u ukupnom otporu kotrljanja. [11]

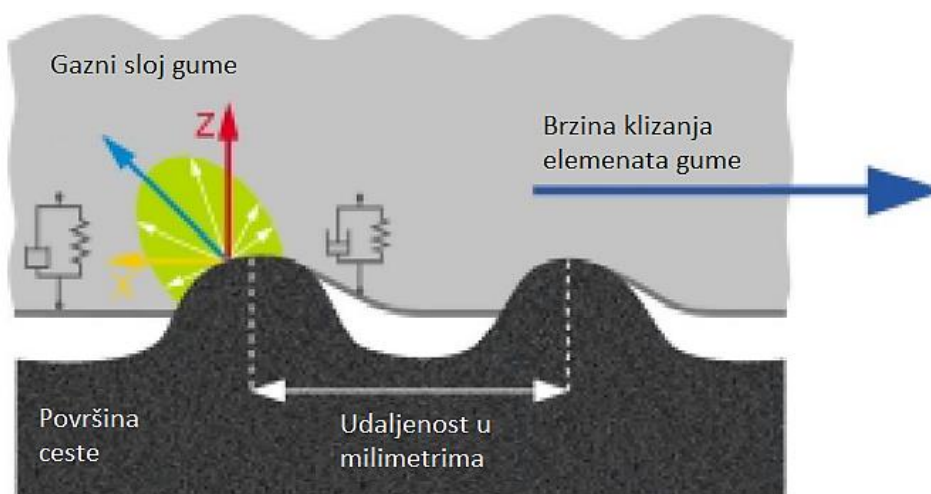
2.5. Prianjanje

Vučna vozila rezultat je trenja između gume i podloge po kojoj se guma kreće. Jedino u slučaju prianjanja, odnosno postojanja kontakta između gume i podloge, moguće je ostvariti skretanje, ubrzanje i kočenje. Razlikuju se dva mehanizma u formiranju trenja na mjestu kontakta gume i podloge. [1]

2.5.1. Utjecaj neravnina podloge (histereze)

Prilikom kotrljanja gume po podlozi dolazi do deformacije gume u kontaktu s neravninama podloge čija se veličina može razlikovati od 1 μm (mikro tekstura) do veličine od 0,1 mm do 10 mm (makro tekstura). Kako kod viskoelastičnih materijala postoji kašnjenje između pobude

i deformacije, za vraćanje deformiranog elementa gume u prvobitni oblik potrebno je određeno vrijeme, a vremensku nepodudarnost predstavlja histereza. [1]



Slika 2.9. Utjecaj neravnina podloge [12]

2.5.2. Molekularna adhezija

Prianjanje koje proizlazi kao rezultat molekularne interakcije uslijed Van der Waalsovih sila i veza. Dolazi do formiranja veza na površini kontakta gume i podloge, zatim do istezanja molekularnih lanaca i na kraju do prekidanja veza te se taj postupak ponavlja što je na slici 2.10. prikazano brojevima 1,2 i 3.

Radi ciklusa istezanja i prekidanja veza, molekularni lanci u materijalu gume generiraju viskoelastični rad (zbog trenja između molekularnih lanaca u volumenu materijala). Taj rad dodatno umnožava energiju vezivanja. [1]



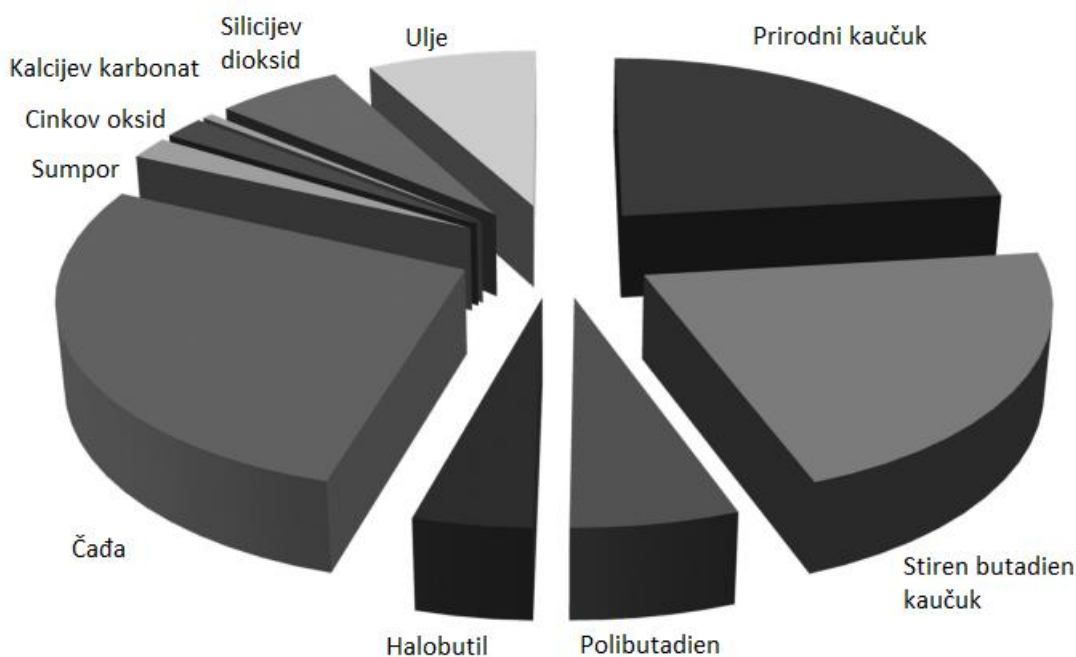
Slika 2.10. Molekularna adhezija [12]

3. Materijali za izradu guma

Uz projektiranje i konstruiranje, tehnologija materijala za gume jedna je od tri osnovna elementa u inženjerstvu guma. Sirovi materijali dostupni za izradu smjese gume podijeljeni su u pet kategorija: [7]

1. Polimeri, uključujući prirodni kaučuk, sintetičke elastomere i, što je najvažnije, mješavinu elastomera
2. Punila, poput čađe, silicijevog dioksida i kalcijevog karbonata
3. Stabilizatori i zaštitni sustavi: antioksidansi, antiozonanti i voskovi
4. Komponente vulkanizacijskog sustava: sumpor, aktivatori i akceleratori
5. Materijali koji poboljšavaju obradivost: sekundarne komponente poput pigmenata, ulja, smole i kratkih vlakana

Na slici 3.1. prikazan je uobičajen sastav materijala kod gume za osobna vozila.



Slika 3.1. Uobičajeni sastav gume osobnih vozila [7]

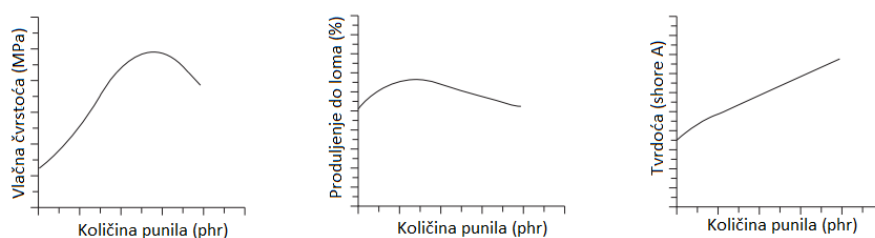
3.1. Polimeri u gumi

Prirodni kaučuk jedan je od najvažnijih elastomera u proizvodnji guma. Ima mogućnost vrlo brze deformacije i oporavka te je netopljiv u brojnim u otapalima, iako će nabubriti kada se uroni u organska otapala pri povišenim temperaturama. Neka od bitnijih svojstava prirodnog kaučuka su otpornost na abraziju, dobra histerezna svojstva, visoka rastezna i lomna čvrstoća. Visoka rastezna čvrstoća, ovog elastomera, je uslijed kristalizacije prilikom deformacije lanaca, međutim, radi toga prirodni kaučuk može imati lošu otpornost na umor. [7]

Sintetički elastomeri koji se koriste u proizvodnji guma su stiren butadien, polibutadien i butilni kaučuk. Stiren butadien ponajviše se upotrebljava u protektoru gume zbog svojih dobrih vučnih karakteristika i otpora na mokro klizanje gume, zadržavajući pri tome dobru otpornost na abraziju. Butilni kaučuk često se nalazi u gaznoj površini, bočnim stijenkama i nekim komponentama karkase gume radi svoje dobre otpornosti na abrazijsko trošenje i povećavanja lomne žilavosti. Također, butilni kaučuk može biti pomiješan s prirodnim kaučukom i takva struktura poboljšava otpornost na umor i rast pukotine. [7]

3.2. Punila

Punila, ili ojačala, dodaju se u smjesu gume kako bi se poboljšala određena svojstva materijala. Elastomeri ili kaučuk (prirodni ili sintetički) ne koriste se u čistom obliku zbog svoje relativno slabe tvrdoće, čvrstoće i otpornosti na trošenje. Radi toga ojačavaju dodavanjem punila koja uvelike mijenjaju svojstva kaučuka. Ojačavajuća punila daju materijalu vrlo dobru kombinaciju visoke elastičnosti i visoke čvrstoće. Također, punila se mogu podijeliti u dvije skupine: crna i ne crna punila. Najčešće korištena punila su čađa, koja pripada crnoj skupini, i silicijev dioksid koji pripada ne crnoj skupini punila. Utjecaj punila prikazan je na dijagramima na slici 3.2. [4] Mjerna jedinica je nastotnjak (phr) i označava masu tvari koja se dodaje smjesi od sto dijelova kaučuka. [13]



Slika 3.2. Utjecaj punila na svojstva elastomera [4]

3.2.1. Čađa

Čađa se uglavnom sastoji od ugljika s niskim postotkom ostalih ugljikovodika ili organskih spojeva s kisikom. Najčešće je korišteno ojačavajuće punilo za smjesu protektora zbog svoje dobre sposobnosti ojačanja. Ojačanje je ponajviše postignuto zbog mehaničkog spajanja kaučuka na površinu čađe, kemijske adsorpcije kaučuka na površinu punila i van der Waalsovih sila između čađe i kaučuka. Svojstva koja se poboljšavaju dodavanjem čađe su: čvrstoća, otpornost na abraziju ili trošenje, otpornost na umor i lakša obrada. Međutim, zbog svoje crne boje absorbira ultraljubičaste zrake što može potaknuti oksidacijsku degradaciju spoja. [4]

3.2.2. Silicijev dioksid

Dodavanje silicijevog dioksida u smjesu gume donosi brojne prednosti, kao što su bolja lomna čvrstoća, smanjenje zagrijavanja gume i bolje prijanjanje. U usporedbi sa čađom iste veličine čestica, silicijev dioksid ne pruža istu razinu ojačanja, međutim dodatkom silanskih sredstava za vezivanje ojačanje postaje čak i bolje u odnosu na čađu. Stoga je silicijev dioksid u prisutnosti silanskih sredstava za vezivanje, zbog boljeg učinka ojačanja, postao važniji u industriji gume. To ujedno i omogućava smanjenje količine punila bez pogoršanja smjese gume. [4]

U tablici 3.1. prikazana je usporedba svojstava čađe i silicijevog dioksida u prisutnosti silanskih sredstava za vezivanje.

Tablica 3.1. Usporedba svojstava čađe i silicijevog dioksida [4]

Svojstvo	Čađa	Silicijev dioksid
Otpornost na abraziju	Dobra	Loša
Otpornost na mokro klizanje	Dobro	Bolje
Otpor kotrljanja	Loše	Dobro

3.3. Zaštitni sustavi

Prisutnost dvostrukih kovalentnih veza između ugljika čini elastomere podložnima utjecaju kisika i ozona, kao i na toplinsku degradaciju. Oksidacija elastomera ubrzana je uslijed brojnih faktora, kao na primjer topline, kontaminacije teških metala, bubrenja u nafti i otapalima, sumpora, vlage, kisika i ozona... Korištenjem antioksidansa, antiozonanta i voskova za

kratkotrajnu upotrebu, povećava se otpornost na degradaciju i smanjuje se pucanje gaznoga sloja bočne stijenke uslijed djelovanja sunčeve svjetlosti i ozona. [7]

3.4. Vulkanizacijski sustavi

Vulkanizacija opisuje kemijsku reakciju između kaučuka i funkcionalne skupine, uobičajeno uz toplinu. Rezultat te kemijske reakcije je čvršći, elastičniji, otporniji proizvod, manje osjetljiv na temperaturne promjene u odnosu na izvorni polimer. [14] Uobičajeni vulkanizacijski sustav u smjesi gume sastoji se od 5 komponenata: [7]

- aktivatora – potiču proces vulkanizacije, uobičajeno cinkov oksid ili stearinska kiselina
- vulkanizacijski agensi (uobičajeno sumpor koji umrežava molekule kaučuka)
- akceleratora – ubrzavaju proces vulkanizacije
- usporivač (predvulkanizacijski inhibitor – spoj koji reagira s akceleratorom)
- povratni otpornik

3.5. Ulja

Ulja primarno služe za prilagodbu viskoznosti smjese. Ulja koja se koriste spadaju u jednu od tri skupine: parafinsko, naftalan ili eterično. Odabir ispravnog ulja izrazito je bitan jer ukoliko ulje nije kompatibilno s polimerom, ulje će izaći iz smjese radi čega dolazi do gubitka potrebnih fizikalnih svojstava, površinskih svojstava gume, a time i pogoršanja prianjanja između komponenata. [7]

4. Protektorski sloj gume

Iako svaka komponenta u gumi ima ulogu u osiguravanju da proizvod ispunjava potrebne karakteristike, sastav i konstrukcija protektora (gaznoga sloja) od znatne su važnosti s obzirom da je između 70 i 90% oštećenih guma uslijed trošenja protektora. Ovaj dio gume ima najveći utjecaj na trošenje, vuču, zaustavni put vozila, histerezu cijele gume (što se odnosi i na potrošnju goriva), otpornost na oštećenje, radnu temperaturu gume i upravljanje.

Protektor je ekstrudirani profil koji okružuje karkasu gume. Uobičajeno se sastoji od tri dijela, a to su:

1. Gazna površina, koja je u kontaktu s kolnikom ceste
2. Baza, prijelazna komponenta koja povezuje protektor i karkasu gume i uz to smanjuje radnu temperaturu gazne površine i smanjuje otpor kotrljanja
3. Podložak, pruža dodatno prisanjanje na pojas.

Performanse protektorskog sloja gume određene su s četiri parametra: smjesa protektora, gazna površina protektora, oblik otiska i pritisak, i radijus protektora. [7]

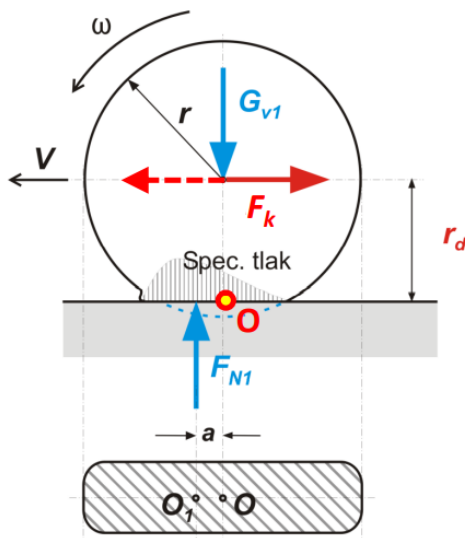
4.1. Smjesa protektora

Kao i u cijeloj smjesi gume, smjesa protektora izrađena je od pet glavnih vrsta materijala: polimera ili elastomera, ojačala ili punila, antioksidansa i ostalih zaštitnih spojeva, vulkanizacijskog sustava i sredstava koja poboljšavaju obradivost. [7]

Odabir elastomera ovisi o vrsti gume i uvjetima na kojima će se upotrebljavati, ali u svim slučajevima, protektor treba osigurati dobru otpornost na trošenje, dobru otpornost na oštećenja, vuču na mokrim i suhim uvjetima, nizak otpor kotrljanja i doprinijeti ekonomičnosti goriva.

Općenito na istoj podlozi, tvrđi protektori imaju bolje karakteristike trošenja, ali slabiju vučnu silu, dok mekši protektori imaju bolju vučnu silu (veći faktor trenja prisanjanja), ali lošije karakteristike trošenja (veći otpor kotrljanja). [7]

4.1.1. Otpor kotrljanja kod različite tvrdoće protektora



Slika 4.1. Otpor kotrljanja [9]

Kako bi se kotač mogao okretati na osovini mora djelovati sila suprotna sili F_k :

$$\sum M_o = 0 \quad (4.1)$$

$$F_k \cdot r_d = F_{N1} \cdot a \quad (4.2)$$

$$F_k = F_{N1} \cdot \frac{a}{r_d} = G_{V1} \cdot \frac{a}{r_d} \quad (4.3)$$

Gdje je:

v – brzina vozila, [m/s]

G_{V1} – težina vozila, [N]

F_{N1} – reakcija podloge, [N]

F_k – ukupni otpor kotrljanja, [N]

r_d – dinamički radijus kotača, [m]

ω – kutna brzina vrtnje kotača, [rad/s]

a – pomak hvatišta reakcijske sile, [m]

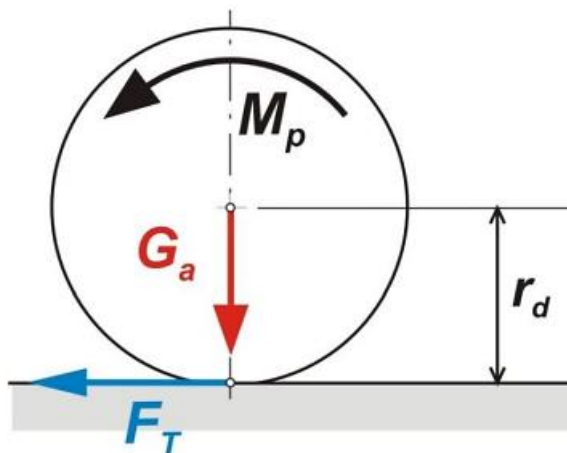
Može se vidjeti kako porastom dinamičkog radijusa kotača pada ukupni otpor kotrljanja te vozilo lakše savladava neravnine na kolniku. Također, rastom pomaka hvatišta reakcijske sile, raste i ukupni otpor kotrljanja te se uvodi faktor otpora kotrljanja:

$$f_k = \frac{a}{r_d} \quad (4.4)$$

Kod tvrdih protektora, pomak hvatišta reakcijske sile bit će manji, a dinamički radijus kotača veći, što rezultira manjim faktorom otpora kotrljanja, a time i boljim karakteristikama trošenja protektora u odnosu na mekši gazni sloj. [11]

4.1.2. Vučna sila kod različite tvrdoće protektora

Vučna sila proizlazi iz okretnog momenta motora, koji se preko transmisije odnosno elemenata prijenosa snage dovodi pogonskim kotačima. Za realizaciju iste najvažnija je sila trenja između kotača i podloge, a ograničena je proklizavanjem.



Slika 4.2. Vučna sila [1]

$$F_V = \frac{M_p}{r_d} = F_T \leq \mu_a \cdot G_a \quad (4.5)$$

Gdje je:

F_V – vučna sila prenesena na podlogu, [N]

M_p – moment doveden pogonskom kotaču, [Nm]

r_d – dinamički radijus kotača, [m]

F_T – sila trenja na mjestu kontakta i podloge, [N]

μ_a – faktor trenja prijanjanja

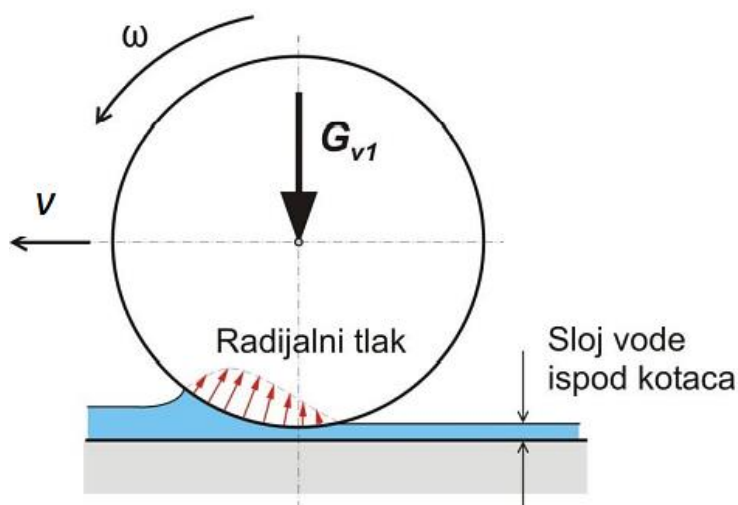
G_a – opterećenje kotača na pogonskoj osovini, [N]

Mekši protektori imaju veći faktor trenja prijanjanja što rezultira većom vučnom sila u odnosu na tvrde protektore. [11]

4.2. Uzorak gazne površine

Uzorak gazne površine protektora u velikoj mjeri utječe na sposobnost pneumatika da prenosi pogonske sile vozila, kočenje, bočne sile i stabilnost. Konstrukcija uzorka protektora sastoji se od kanala oblikovanih od glatke površine protektora, time se formiraju rebra koja se mogu dalje podijeliti na blokove ovisno o primjeni gume. Takva konstrukcija omogućuje postizanje prijanjanja gume na cesti, odvođenje tekućine kako bi ponovno došlo do prijanjanja uslijed molekularne adhezije i poboljšava upravljivost vozila.

Kanali gume konstruirani su za izbacivanje tekućine i na taj način sprječavaju glisiranje i mogu biti uzdužni i poprečni. Glisiranje nastaje kada sloj vode ispod kotača podiže kotač te dolazi do gubitka kontakta između gume i podloge. Takva pojava je opasna zbog naglog smanjenja trenja između pneumatika i podloge i dolazi do nemogućnosti kočenja, ubrzavanja i skretanja. Na slici 4.3. prikazano je glisiranje. [1] [7]



Slika 4.3. Glisiranje [1]

Povećanjem površine kanala povećava se količina odvođenja vode, ali se uz to povećava i trošenje gume radi porasta tlaka na kontaktnoj površini koja je umanjena za povećanje površine kanala. U jednadžbi (4.6) prikazana je rasprostranjenost kanala. [1]

$$\varphi = \frac{A_u}{A} \cdot 100 [\%] \quad (4.6)$$

Gdje je:

φ – rasprostranjenost kanala

A_u – površina pod kanalom, [m²]

A – ukupna površina gume, [m²]

Dubina kanala mijenja se trošenjem gume prema izrazu:

$$\chi = \frac{h}{h_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.7)$$

Gdje je:

χ – relativna dubina kanala

h – stvarna dubina kanala, [mm]

h_0 – dubina kanala nove gume, [mm]

Trošenjem gume pada relativna dubina kanala te se prijanjanje poboljšava, međutim raste i opasnost od plivanja jer se smanjuje površina kanala. Na slici 4.4. prikazane su gazne površine guma za različite uvjete. [1]



Slika 4.4. Gazne površine za različite uvjete [1]

5. Postupak protektiranja guma

Protektiranje je tehnološki postupak pri kojemu se istrošeni protektorski sloj gume uklanja i na neoštećenu karkasu gume postavlja se novi, te predstavlja jedinu opciju recikliranja gume, koja je postala neupotrebljiva zbog svog istrošenog vanjskog sloja. Također, protektiranje visoke kvalitete gume terenskog vozila zahtjeva 40 kg nafte, dok je 200 kg nafte potrebno kako bi se proizvela u potpunosti nova guma. Stoga, tehnologija protektiranja ima potencijal uštede velike količine čelika i nafte i time mogućnost smanjenja emisije CO₂ čime izravno povoljno utječe na održivi razvoj i zaštitu okoliša.

S obzirom da je većina kvarova guma uzrokovana trošenjem, kako bi se produžio vijek trajanja gume neophodno je povećati otpornost na trošenje što se može postići kvalitetnim protektiranjem.

Poželjni osnovni zahtjevi za gumu su: visoka otpornost na trošenje, prijanjanje pri mokrim uvjetima i manji otpor kotrljanja radi potrošnje goriva:

Osnovni zahtjevi za razvoj smjese protektora su: obradivost, mala histereza, otpornost na klizanje, otpornost na abraziju, niska stopa rasta pukotine, mali otpor kotrljanja, termooksidativna stabilnost i ekonomičnost.

Prije samog postupka protektiranja, nerazornim ispitivanjima potrebno je ustanoviti je li karkasa gume prihvatljiva za protektiranje, a uvjeti koje guma mora zadovoljiti su [4]:

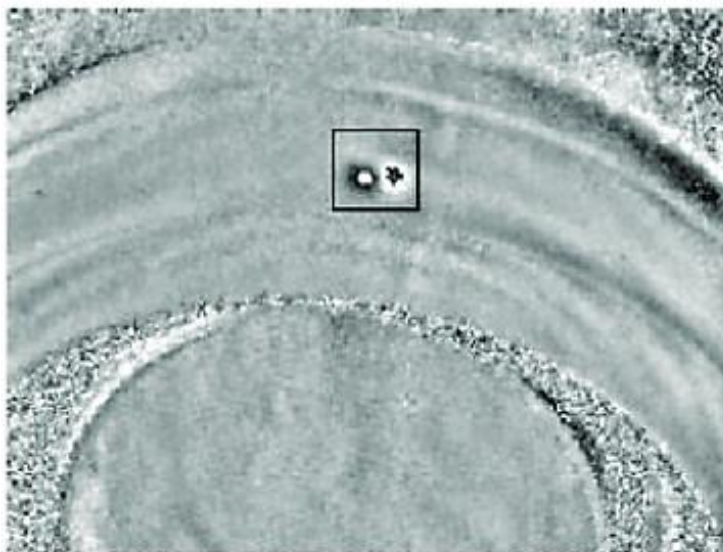
1. Nema odvajanja slojeva
2. Jezgra noge nije oštećena
3. Nema oštećenja vlakana u području jezgre
4. Armaturno vlakno ne smije biti labavo i nema znakova preopterećenja i preniskog tlaka zraka
5. Nema dijelova protektorskog sloja koji ne može biti uklonjen tijekom poliranja
6. Nema odvajanja u području bočne stijenke
7. Nema pukotine koja se širi u karkasi zbog starenja
8. Nema nepopravljivog oštećenja u nepropusnom gumenom sloju ili području jezgre kod gume bez zračnice
9. Nema velikog oštećenja koje ne može biti popravljeno
10. Nema odvajanja pojasa u radijalnim gumama

5.1. Nerazorna ispitivanja kod ispitivanja gume

Za provjeru stanja istrošene gume koriste se rendgenski uređaj i shearografija, nova napredna holografška metoda. Te tehnike nerazornih ispitivanja koriste se u kombinaciji s konvencionalnom vizualnom provjerom kako bi se dobilo precizno ispitivanje istrošene gume.

5.1.1. Shearografija

Shearografija je interferometrijska metoda ispitivanja kojom se mogu identificirati oštećenja ili nedostaci na dijelovima pod opterećenjem. [15] Ovim uređajem mogu se precizno otkriti oštećenja u obliku mjehurića u gaznoj površini gume, ramenu i bočnoj stijenci. Metoda shearografije mapira površinu karkase koristeći lasersku holografiju i napredna je nerazorna metoda ispitivanja karkase pneumatika. Oprema generira holografšku sliku oštećenog područja i može odrediti dimenzije i poziciju oštećenja. Ovim testiranjem osigurava se trajnost karkase nakon protektiranja. [4] Na slici 5.1. prikazan je primjer shearografskog testiranja gdje se može vidjeti oštećenje bočne stijenke u obliku mjehurića.



Slika 5.1. Shearografija [17]

5.1.2. Rendgenski uređaj

Ispitivanje rendgenskim uređajem pripada radiografskoj metodi nerazornih ispitivanja. Korištenjem izvora ionizirajućeg zračenja (X zrake za rendgen) zrake prolaze kroz materijal i mijenjaju kemijski sastav filma koji se nalazi na drugoj strani materijala. [16]

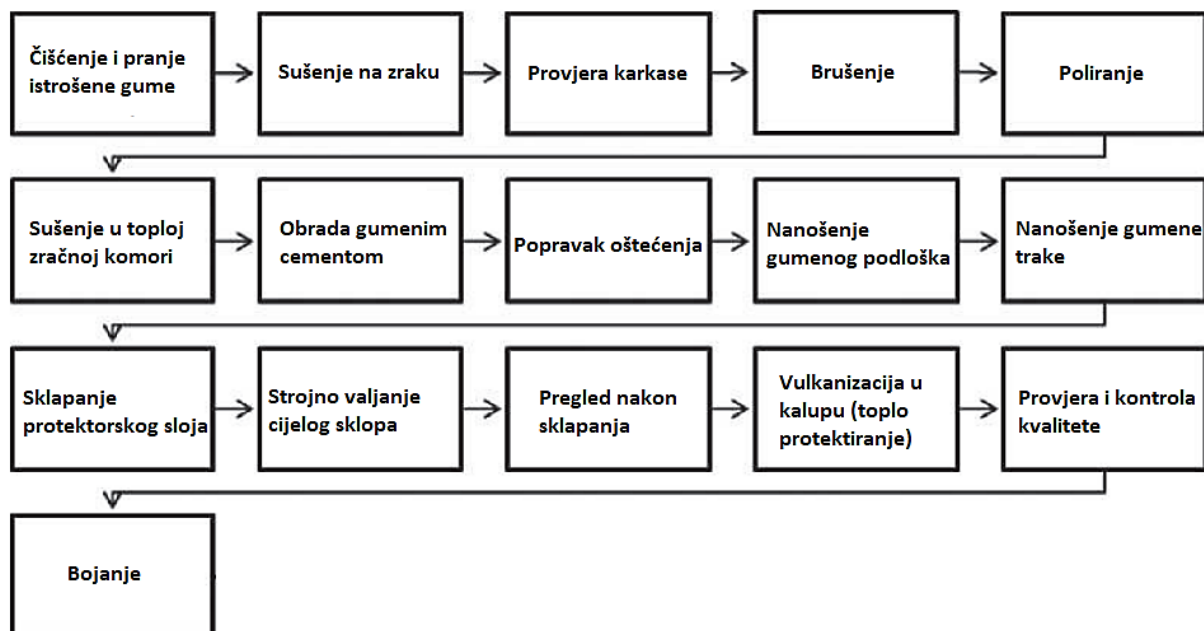
Rendgenskim uređajem mogu se vidjeti svi unutarnji dijelovi gume, uključujući bilo koju prazninu, zračnu rupu ili strani materijal. Ova metoda ispitivanja pruža informacije o unutrašnjoj strukturi istrošene gume i njezinoj prikladnosti za protektiranje. [4]

5.2. Proizvodni procesi protektiranja

Postupak protektiranja sastoji se od četiri glavne faze obrade [4]:

1. Poliranje
2. Cementiranje
3. Montaža
4. Oblikovanje

Na slici 5.2. prikazani su detaljni koraci protektiranja istrošene gume.



Slika 5.2. Koraci protektiranja istrošene gume [4]

5.2.1. Poliranje

Poliranje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se primjenjuje za uklanjanje nepravilnosti nastalih uklanjanjem starog protektorskog sloja brušenjem. Glavni cilj poliranja je pripremiti područje gazne površine za nanošenje novog protektora. Tijekom postupka poliranja, guma mora biti napuhana kako bi se postigla standardna dimenzija kotača. Također, polirana karkasa treba imati dimenzije koje su kompatibilne s korištenim sustavom protektiranja, odgovarati vrsti gume i veličini kalupa za oblikovanje. [4]

Polirano područje ne smije biti onečišćeno i oksidirano. Onečišćena površina izrazito je bitna za adheziju, stoga kako bi se izbjegla mogućnost bilo kakve kontaminacije, vremenski razmak prije montaže treba biti sveden na minimum.

Potrebno je odrediti razinu oštećenja svake pukotine, rupe ili prodora i osigurati da je uklonjen sav strani materijal. Ukoliko na gumi nakon poliranja postoje oštećenja veća od 10 mm, ista trebaju biti popravljena prije procesa montaže koristeći odgovarajuću gumenu smjesu. Nakon poliranja bitno je detaljno provjeriti da nema neprimijećenih oštećenja na gumi. [4]

5.2.2. Cementiranje

Nakon poliranja karkasu je prvo potrebno očistiti zračnim mlazom kako bi se uklonila sva prašina te se nakon toga očisti s potrebnim otapalom. Zatim se karkasa suši i cementira nanošenjem odgovarajućeg gumenog cementa specifične viskoznosti unutar maksimalno osam sati od poliranja. Prije nanošenja cementa karkasa mora biti u potpunosti čista. [4]

Gumeni cement treba osigurati adekvatnu adheziju između novog protektorskog sloja i pripremljene stare karkase. S cementiranim gumama treba pažljivo rukovati kako se površina nebi kontaminirala prašinom, koja može utjecati na adhezivna svojstva. Stoga cementirane gume moraju biti skladištene u kontroliranim uvjetima. Ukoliko cementirana guma dugo stoji prije montaže protektorskog sloja, može se, ako je potrebno, očistiti s odgovarajućim otapalom. [4]

5.2.3. Montaža

Protektirani sloj mora se montirati na napuhanoj gumi kako bi se postigla potrebna dimenzija kotača. Prije nanošenja protektiranog sloja, gumena traka nanosi se izravno na cementiranu površinu kako bi povezala novi protektor i poliranu karkasu i popravila manja oštećenja.

Ovisno o načinu protektiranja (toplo ili hladno protektiranje), razlikujemo dva načina montaže. Kod hladnog protektiranja, ekstrudirani vulkanizirani profil protektora se s oblikovanim uzorkom nanosi na karkasu gume, dok kod toplog protektiranja ekstrudirani profil nema oblikovan uzorak protektora već se isti oblikuje i vulkanizira u kalupu nakon montaže.

Ekstrudirani profil protektora, spojen s obje strane, strojno se pomoću lasera centrira po opsegu polirane karkase i spaja s karkasom. Širina protektorskog sloja određena je dimenzijom karkase. [4] Na slici 5.3. prikazano je nanošenje ekstrudiranog profila oblikovanog protektora na karkasu.



Slika 5.3. Nanošenje oblikovanog ekstrudiranog profila protektora [18]

5.2.4. Vulkanizacija protektora u kalupu (toplo protektiranje)

Potpuno sklopljena guma spremna za vulkanizaciju u kalupu treba biti prikladno skladištena kako bi se spriječila deformacija nestvrdnutih materijala i bilo kakva kontaminacija. Cjelokupni proces vulkanizacije odvija se u kalupu za prešanje koji je zagrijan parom na temperaturu od 150°C do 160°C. Trajanje oblikovanja varira od dva do osam sati, ovisno o veličini gume. Tijekom vulkanizacije zračnica se postavi s unutrašnje strane gume i ubrizga se zrak pod tlakom kako bi se izvršio pritisak s unutrašnje strane prema zidu kalupa i na taj način oblikovao uzorak protektora. Tlak zraka treba održavati na 800 do 950 kPa tijekom procesa oblikovanja, ovisno o veličini protektirane gume. Nakon oblikovanja, protektirana guma se hladi na sobnoj temperaturi nekoliko sati te je nakon hlađenja testirana s tlakom zraka od 200 kPa koristeći zračnicu. [4] Na slici 5.4. prikazana je protektirana guma nakon vulkanizacije i oblikovanja uzorka u kalupu.



Slika 5.4. Toplo protektirana guma [19]

5.2.5. *Hladno protektiranje*

U odnosu na toplo protektiranje, kod hladnog protektiranja protektor je vulkaniziran i oblikovan uzorkom prije nanošenja na karkasu gume, stoga nije potrebno prešanje cijele gume u kalupu, odnosno oblikovanje. Isto kao i kod toplog protektiranja, protektorski sloj nanosi se na gumenu traku koja povezuje karkasu i protektor. [4]

Nakon što je oblikovan protektor nanijet na karkasu, potrebno je na protektor staviti gumeni omotač iz kojega se izvlači zrak kako bi se kreirao vakuum prije vulkanizacije. Izvlačenjem zraka stvara se pritisak na protektoru čime se omogućuje odgovarajuće stvrdnjavanje novog protektora i stare karkase tijekom vulkanizacije.

Za vulkanizaciju oblikovane protektirane gume upotrebljava se komora za stvrdnjavanje, koja je parom zagrijana između 95°C i 120°C i uobičajeno pod tlakom od minimalno 0,3 MPa. Proces vulkanizacije mora biti u skladu sa specifikacijama o vremenu vulkanizacije, temperaturi i tlaku. [4]

6. Propisi i zahtjevi za izradu protektiranih guma

U ovom poglavlju dan je prikaz propisa i zahtjeva za izradu protektiranih guma prema ECE pravilniku R109. [9]

6.1. Oznake

Na obje bočne stijenke simetričnih guma i barem na vanjskoj bočnoj stijenki nesimetričnih guma, protektirane gume trebaju prikazati: [9]

- naziv robne marke ili zaštitni znak
- oznaku veličine gume

Oznake strukture prikazuju se na sljedeći način:

- dijagonalne gume: nema oznake ili slovo „D“ smješteno ispred oznake promjera naplatka
- radijalne gume: slovo „R“ smješteno ispred oznake promjera naplatka i po izboru riječ „RADIAL“
- dijagonalna guma s pojasom: slovo „B“ ispred oznake promjera naplatka i uz to riječ „BIAS-BELTED“

Oznaka nazivne nosivosti stavlja se u obliku indeksa opterećenja koji je napisan u obliku broja koji označava pripadajuće opterećenje koje guma može podnijeti pri maksimalnoj odgovarajućoj brzini. Na slici 6.1. prikazana je tablica indeksa opterećenja.

Indeks opterećenja i nosivost - kg													
LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	I	kg
0	45	40	140	80	450	120	1 400	160	4 500	200	14 000	240	45 000
1	46.2	41	145	81	462	121	1 450	161	4 625	201	14 500	241	46 250
2	47.5	42	150	82	475	122	1 500	162	4 750	202	15 000	242	47 500
3	48.7	43	155	83	487	123	1 550	163	4 875	203	15 500	243	48 750
4	50	44	160	84	500	124	1 600	164	5 000	204	16 000	244	50 000
5	51.5	45	165	85	515	125	1 650	165	5 150	205	16 500	245	51 500
6	53	46	170	86	530	126	1 700	166	5 300	206	17 000	246	53 000
7	54.5	47	175	87	545	127	1 750	167	5 450	207	17 500	247	54 500
8	56	48	180	88	560	128	1 800	168	5 600	208	18 000	248	56 000
9	58	49	185	89	580	129	1 850	169	5 800	209	18 500	249	58 000
10	60	50	190	90	600	130	1 900	170	6 000	210	19 000	250	60 000
11	61.5	51	195	91	615	131	1 950	171	6 150	211	19 500	251	61 500
12	63	52	200	92	630	132	2 000	172	6 300	212	20 000	252	63 000
13	65	53	206	93	650	133	2 060	173	6 500	213	20 600	253	65 000
14	67	54	212	94	670	134	2 120	174	6 700	214	21 200	254	67 000
15	69	55	218	95	690	135	2 180	175	6 900	215	21 800	255	69 000
16	71	56	224	96	710	136	2 240	176	7 100	216	22 400	256	71 000
17	73	57	230	97	730	137	2 300	177	7 300	217	23 000	257	73 000
18	75	58	236	98	750	138	2 360	178	7 500	218	23 600	258	75 000
19	77.5	59	243	99	775	139	2 430	179	7 750	219	24 300	259	77 500
20	80	60	250	100	800	140	2 500	180	8 000	220	25 000	260	80 000
21	82.5	61	257	101	825	141	2 575	181	8 250	221	25 750	261	82 500
22	85	62	265	102	850	142	2 650	182	8 500	222	26 500	262	85 000
23	87.5	63	272	103	875	143	2 725	183	8 750	223	27 250	263	87 500
24	90	64	280	104	900	144	2 800	184	9 000	224	28 000	264	90 000
25	92.5	65	290	105	925	145	2 900	185	9 250	225	29 000	265	92 500
26	95	66	300	106	950	146	3 000	186	9 500	226	30 000	266	95 000
27	97.5	67	307	107	975	147	3 075	187	9 750	227	30 750	267	97 500
28	100	68	315	108	1 000	148	3 150	188	10 000	228	31 500	268	100 000
29	103	69	325	109	1 030	149	3 250	189	10 300	229	32 500	269	103 000
30	106	70	335	110	1 060	150	3 350	190	10 600	230	33 500	270	106 000
31	109	71	345	111	1 090	151	3 450	191	10 900	231	34 500	271	109 000
32	112	72	355	112	1 120	152	3 550	192	11 200	232	35 500	272	112 000
33	115	73	365	113	1 150	153	3 650	193	11 500	233	36 500	273	115 000
34	118	74	375	114	1 180	154	3 750	194	11 800	234	37 500	274	118 000
35	121	75	387	115	1 215	155	3 875	195	12 150	235	38 750	275	121 500
36	125	76	400	116	1 250	156	4 000	196	12 500	236	40 000	276	125 000
37	128	77	412	117	1 285	157	4 125	197	12 850	237	41 250	277	128 500
38	132	78	425	118	1 320	158	4 250	198	13 200	238	42 500	278	132 000
39	136	79	437	119	1 360	159	4 375	199	13 600	239	43 750	279	136 000

Slika 6.1. Indeksi opterećenja za određenu nosivost [9]

Maksimalna brzina pri kojoj guma može podnijeti opterećenje dano pripadajućim indeksom opterećenja označava se simbolom za brzinu. Na slici 6.2. prikazani su simboli brzine za odgovarajuću maksimalnu brzinu.

Također, na gumi može biti oznaka koja predstavlja indeks opterećenja i simbol brzine za „jedinstvene svrhe“ koja se stavlja uz uobičajene opise opterećenja i brzine.

Simbol brzine	Odgovarajuća maksimalna brzina
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160
R	170
S	180
T	190
U	200
H	210

Slika 6.2. Simboli brzine za odgovarajuću maksimalnu brzinu [9]

Nazivni promjer naplatka zapisuje se u kodnom obliku i predstavlja određeni promjer. Tablica kodnih naziva promjera i njemu pripadajućih promjera prikazana je na slici 6.3.

Kodna oznaka nazivnog promjera naplatka - „d“	Vrijednost simbola „d“ izražena u mm
8	203
9	229
10	254
11	279
12	305
13	330
14	356
15	381
16	406
17	432
18	457
19	483
20	508
21	533
22	559
24	610
25	635
14.5	368
16.5	419
17.5	445
19.5	495
20.5	521
22.5	572
24.5	622
26	660
28	711
30	762

Slika 6.3. Nazivni promjeri naplatka [9]

Datum protektiranja označava se u obliku četiri znamenke, prve dvije prikazuju tjedan u kojemu se guma protektirala, a druge dvije godinu. Oznaka datuma pokriva period proizvodnje od tjedna označenog na gumi i iduća tri tjedna. Na primjer, oznaka „2503“ označava gumu koja je protektirana u tjednima 25, 26, 27 i 28 u 2003. godini. Oznaka datuma može biti samo na jednoj bočnoj stijenci gume. [9]

Natpis „TUBELESS“ se stavlja ukoliko se radi o gumi namijenjenoj za uporabu bez zračnice, a natpis M+S, M.S., M & S ili MS u slučaju gume za snijeg. Ukoliko se radi o gumi koja se može ponovno užlijebiti, natpis „REGROOVABLE“ se stavlja na obje bočne stijeneke.

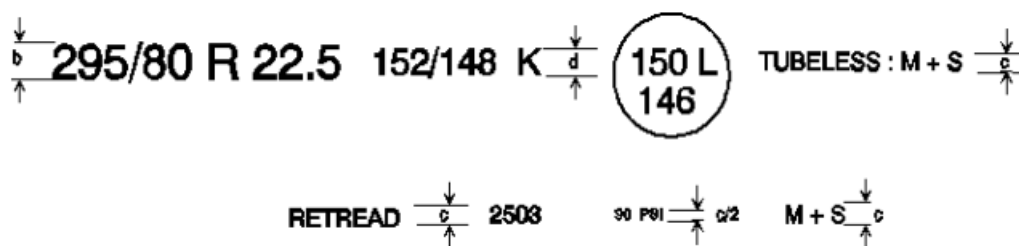
Naznaka, pomoću indeksa „PSI“, prikazuje tlak zraka koji se primjenjuje za ispitivanja izdržljivosti u ovisnosti o nosivosti i brzini. Na slici 6.4. prikazana je veza između indeksa tlaka i vrijednosti tlaka.

Pressure Index ("PSI")	bar	kPa
20	1.4	140
25	1.7	170
30	2.1	210
35	2.4	240
40	2.8	280
45	3.1	310
50	3.4	340
55	3.8	380
60	4.1	410
65	4.5	450
70	4.8	480
75	5.2	520
80	5.5	550
85	5.9	590
90	6.2	620
95	6.6	660
100	6.9	690
105	7.2	720
110	7.6	760
115	7.9	790
120	8.3	830
125	8.6	860
130	9.0	900
135	9.3	930
140	9.7	970
145	10.0	1000
150	10.3	1030
...	...	...

Slika 6.4. Indeksi i vrijednosti tlaka za ispitivanje izdržljivosti [9]

Oznake „ET“, „AML“ ili „MPT2“ prikazuju gume za specijalne primjene, kao na primjer gume za terenske uvjete.

Na slici 6.3. prikazan je primjer oznake protektirane gume.



Minimalna visina oznake [mm]		
	Gume promjera naplatka ≤ kod 20 ili ≤ 508 mm ili širine presjeka ≤ 235 mm	Gume promjera naplatka > kod 20 ili > 508 mm ili širine presjeka > 235 mm
b	6	9
c	4	
d	6	

Slika 6.5. Primjer oznaka na gumi [9]

Gornji primjer definira protektiranu gumu:

- kojoj je nazivna širina presjeka 295;
- kojoj je nazivni omjer oblika 80;
- radijalna struktura (R);
- koja ima nazivni promjer naplatka 572 mm, za koju je kodna oznaka 22.5;
- koja ima nosivost od 3550 kg (jednostruka) ili 3150 kg (dvostruka montaža), što odgovara indeksu opterećenja 152 i 148 što se može vidjeti na slici 6.1.
- koja ima simbol brzine K (najveća brzina 110 km/h što se može vidjeti na slici 6.3.)
- može se upotrebljavati u jedinstvene svrhe, simbol brzine L (najveća brzina 120 km/h); s nosivosti od 3350 kg (jednostruka) i 3000 kg (dvostruka), što odgovara indeksu opterećenja s kodnom oznakom 150 i 146;
- namijenjena za korištenje bez zračnice („TUBELESS“) i koja pripada tipu gume za snijeg (M+S);
- protektirana je u tjednima 25, 26, 27 i 28, 2003. godine;

- zahtjeva da se napuše na tlak od 620 kPa za ispitivanja izdržljivosti u ovisnosti o opterećenju i brzini, za koje je PSI simbol 90.

6.2. Zahtjevi

6.2.1. Stanje guma prije protektiranja

Gume trebaju biti čiste i suhe prije provjere. Prije poliranja, svaka guma treba proći detaljnu provjeru iznutra i iz vana kako bi se utvrdila prikladnost za protektiranje. Također, gume kod kojih se vidi oštećenje uslijed preopterećenja ili preniskog tlaka zraka ne smiju biti protektirane.

Gume koje imaju neko od idućih oštećenja ne mogu biti protektirane: [9]

- nepopravljiva pukotina gume koja se proteže do karkase,
- puknuće karkase,
- osjetno oštećenje uslijed djelovanja kemikalija,
- oštećena ili puknuta jezgra,
- prethodni popravci oštećenja koji su izvan određenih limita oštećenja

Uvjeti u kojima je guma izvan specificiranih limita popravljivosti: [9]

- oštećenje ili prodor karkase nakon pripreme za popravak,
- višestruka oštećenja previše blizu jedna drugome,
- znatno pogoršanje nepropusnog gumenog sloja,
- oštećenje jezgre,
- izložena vlakna karkase,
- labava vlakna,
- odvajanje slojeva pojasa,
- trajno deformirana ili savijena vlakna karkase,
- obodna pukotina iznad jezgre,
- korodirana čelična vlakna

6.2.2. Priprema

Nakon poliranja i prije nanošenja novog materijala, svaka guma treba biti ponovno detaljno pregledana, barem iz vana. Cijela površina na koju se nanosi novi materijal treba biti pripremljena bez pregrijavanja i tekstura polirane površine ne smije sadržavati duboke razderotine ili rasuti materijal. [9]

Oštećenja nastala tijekom poliranja ne smiju premašiti definirana ograničenja popravka i moraju biti popravljena. Kod dijagonalnog pneumatika oštećenja uslijed poliranja ne smiju se proširiti preko najdaljeg sloja karkase. Treba pretpostaviti da prvi sloj koji se susreće je sloj karkase osim ako međupojasi mogu biti izričito definirani. Ako su međupojasi ugrađeni, lokalizirana oštećenja su dopuštena.

Lokalizirana oštećenja nastala tijekom poliranja na pojasu radijalne gume su dopuštena. Ukoliko je oštećenje veće, dopušteno je zamijeniti cijeli pojas ili dio pojasa. Tamo gdje je konstruiran zaštitni međupojas i može biti definiran kao takav, ako je oštećen, dozvoljeno ga je ukloniti i ne treba ga obnavljati. [9]

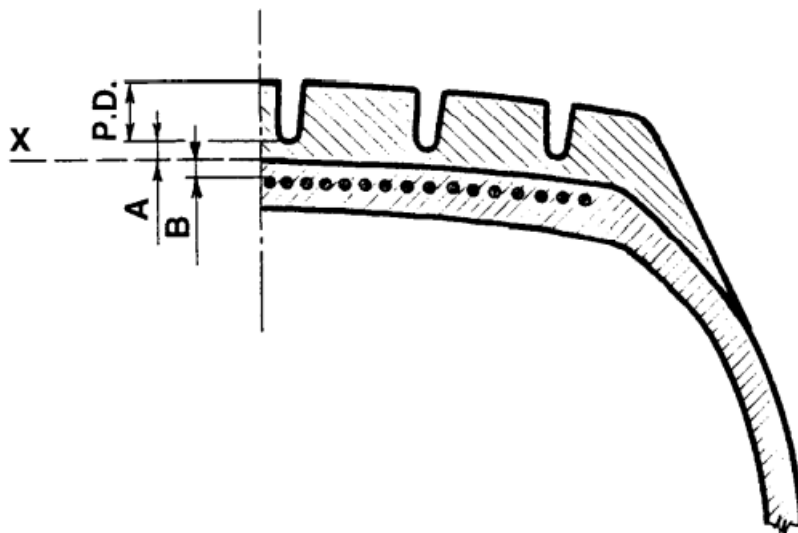
6.2.3. Protektiranje

Obnavljač gume mora osigurati da je proizvođač ili dobavljač materijala za popravak, uključujući zakrpe, odgovoran za:

- definiranje načina popravka i skladištenja,
- definiranja limita oštećenja za koji je materijal konstruiran,
- osiguravanje da je zakrpa prikladna za tu svrhu, ukoliko se pravilno primjenjuje u popravku karkase,
- osiguravanje da je zakrpa sposobna izdržati dvostruko veći maksimalni tlak zraka u gumi od onog koji je dan od strane proizvođača gume,
- osiguravanje prikladnosti bilo kojeg drugog materijala za popravak.

S druge strane, obnavljač gume odgovoran je za ispravnu primjenu materijala za popravak i za osiguravanje da popravak nema oštećenja koji mogu negativno utjecati na vijek trajanja gume. Obrađena guma treba biti vulkanizirana što je prije moguće nakon završetka svih popravaka i procesa montaže, a najkasnije prema specifikacijama proizvođača. Trajanje, temperatura i tlak vulkanizacije gume ovise o materijalu i opremi za obradu.

Dimenzije kalupa kod toplog protektiranja moraju odgovarati debljini novog materijala i veličini polirane gume. Debljina originalnog materijala nakon poliranja i prosječna debljina bilo kojeg novog materijala ispod uzorka protektorskog sloja nakon protektiranja trebaju biti kao što je prikazano na slici 6.6.



Slika 6.6. Debljina materijala radijalne gume [9]

Gdje su:

P.D. – dubina kanala,

X – linija poliranja,

A – prosječna debljina novog materijala ispod kanala (minimalno 2 mm),

B – minimalna debljina originalnog materijala iznad pojasa nakon poliranja (minimalno 0 mm),

Uz to, $A+B$ mora biti između 3 i 13 mm.

Za dijagonalne gume debljina originalnog materijala iznad međupojasa treba biti ≥ 0.80 mm, zatim prosječna debljina novog materijala iznad polirane linije treba biti ≥ 2.00 mm. Zbroj originalnog i novog materijala ispod kanala uzorka protektorskog sloja treba biti između 3 i 13 mm. [9]

6.2.4. Pregled

Nakon vulkanizacije, dok je još određeni stupanj topline u gumi, potrebno je svaku gumu pregledati kako bi se ustanovilo da nema vidljivih oštećenja. Tijekom ili nakon protektiranja, guma treba biti napuhana na najmanje 150 kPa (1,5 bara) za ispitivanje. Kada guma ima vidljivih oštećenja, treba biti podvrgnuta ispitivanju kako bi se odredili odgovarajući daljnji postupci na gumi. Druge metode, prilagođenije od vizualne kontrole, koje ne zahtijevaju napuhanu gumu tijekom pregleda, mogu također biti korištene uz odobrenje tijela za homologaciju. [9]

6.2.5. Ispitivanje performansi

Gume protektirane u skladu s ovom regulativom moraju zadovoljiti ispitivanje izdržljivosti u ovisnosti o nosivosti i brzini. Protektirana guma koja nakon ispitivanja izdržljivosti nema odvajanja gaznoga sloja, slojeva platna ili korda, čupanja ili kidanja niti korda uspješno je prošla ispitivanje. Vanjski promjer gume izmjeren šest sati nakon ispitivanja izdržljivosti ne smije se razlikovati za više od $\pm 3,5\%$ od vanjskog promjera izmjerenog prije ispitivanja. [9]

6.2.6. Postupak ispitivanja izdržljivosti u zavisnosti od nosivosti i brzine

6.2.6.1. Priprema gume

1. Postaviti novu gumu na mjerni naplatak koji je odredio obnavljač gume
2. Koristiti novu zračnicu ukoliko je guma ispitivana sa zračnicom
3. Napuhati gumu do tlaka koji odgovara indeksu tlaka kao što je prikazano u tablici na slici 6.4.
4. Kondicionirati sklop gume i kotača na sobnoj temperaturi najmanje tri sata
5. Ponovno namjestiti tlak u gumi na vrijednost navedenu u točki 1. [9]

6.2.6.2. Postupak ispitivanja [9]

1. Postaviti sklop gume i kotača na ispitnu osovinu i pritisnuti ga na vanjsku površinu glatkoga valjka promjera $1,70\text{ m} \pm 1\%$ ili $2\text{ m} \pm 1\%$, imajući pri tome površinu široku barem kao gazni sloj gume.
2. Opteretiti ispitnu osovinu nizom ispitnih opterećenja koja su jednaka postotku navedenog opterećenja u tablici na slici 6.1., koji odgovara indeksu opterećenja

navedenog na gumi, i u skladu s programom ispitivanja koji je prikazan u tablici na slici. Kod guma koje imaju naznačeno korištenje u jednostrukoj i dvostrukoj formaciji, opterećenje koje odgovara jednostrukoj formaciji treba uzeti pri testiranju. Ovaj postupak vrijedi za gume koje imaju maksimalnu brzinu manju od 150 km/h.

3. Tlak u gumi ne smije biti korigiran tijekom testiranja i ispitno opterećenje treba biti konstantno u svakoj od tri faze ispitivanja.
4. Tijekom ispitivanja sobna temperatura treba biti održavana između 20°C i 30°C osim ako proizvođač ili obnavljač gume prihvate korištenje veće temperature.

Indeks opterećenja	Simbol brzine	Brzina ispitnog valjka [min ⁻¹]		Opterećenje postavljeno na kotač kao postotak u odnosu na opterećenje koje odgovara indeksu opterećenja		
		Radijalna guma	Dijagonalna guma i dijagonalna s pojasom	7 h.	16 h.	24 h.
122 ili više	F	100	100	66%	84%	101%
	G	125	100			
	J	150	125			
	K	175	150			
	L	200	-			
	M	225	-			
121 ili manje	F	100	100	70%	88%	106%
	G	125	125			
	J	150	150			
	K	175	175	75%	97%	114%
	L	200	175			
	M	250	200			
	N	275	-	75%	97%	114%
	P	300	-	75%	97%	114%

Slika 6.7. Program ispitivanja izdržljivosti za gume s maksimalnom brzinom manjom od 150 km/h [9]

Program ispitivanja za gume koje imaju maksimalnu brzinu veću od 150 km/h: [9]

- opterećenje na kotaču i gumi treba biti postotak u odnosu na odgovarajući indeks opterećenja kako slijedi. Kada se guma ispituje na valjku promjera $1,70 \pm 1\%$, taj postotak treba iznositi 90%, a 92% kod valjka promjera $2 \text{ mm} \pm 1\%$.
- brzina ispitivanja početne faze treba biti 20 km/h manja od one koja je označena simbolom brzine za gumi
- vrijeme potrebno za postizanje početne ispitne brzine treba biti 10 minuta

- trajanje prve faze, također treba biti 10 minuta
- brzina ispitivanja druge faze treba biti 10 km/h manja od one koja je označena simbolom brzine za gumi
- trajanje druge faze isto treba biti 10 minuta
- posljednja faza ispitivanja treba biti jednaka kao ona koja je označena simbolom brzine za gumu
- trajanje posljednje faze treba trajati 30 minuta.

6.3. Specifikacije

Protektirane gume u skladu s ovom regulativom moraju biti u skladu sa sljedećim dimenzijama: [9]

6.3.1. Širina presjeka

Širina presjeka treba se računati prema idućem izrazu:

$$S = S_1 + K(A_1 - A_2) \quad (6.1)$$

Gdje je:

S – širina presjeka mjerena na mjernome naplatku, [mm]

S_1 – nazivna širina presjeka koju je naveo proizvođač, [mm]

A_1 – širina mjernog naplatka koju proizvođač navodi u tehničkom opisu, [mm]

A_2 – širina teorijskog naplatka koju je naveo proizvođač, [mm]

K – faktor, vrijednost koju treba uzeti je 0,4

6.3.2. Vanjski promjer gume

Teorijski vanjski promjer protektirane gume treba se računati prema idućem izrazu: [9]

$$D = d + 2H \quad (6.2)$$

Gdje je:

D – teorijski vanjski promjer, [mm]

d – nazivni promjer naplatka, [mm]

H – nazivna visina presjeka koja je jednaka:

$$H = S_1 \cdot R_a \quad (6.3)$$

R_a – nazivni omjer oblika

Svi gore navedeni simboli navedeni su u oznaci veličine gume na bočnoj stijenci gume u skladu s pravilima o oznakama.

6.3.3. Postupak mjerenja dimenzija protektirane gume [9]

1. Gumu postaviti na mjerni naplatak i napuhati je do tlaka koji je odredio proizvođač
2. Postavljenu gumu na mjernom naplatku držati na temperaturi koja je u laboratoriju najmanje 24 sata
3. Nakon toga vratiti na vrijednost tlaka koji je odredio proizvođač
4. Izmjeriti ukupnu širinu u šest jednako razmaknutih točaka oko gume, uzimajući u obzir debljinu zaštitnih rebara ili vrpce. Najveće dobiveno očitavanje treba uzeti kao ukupnu širinu.
5. Vanjski promjer treba se računati iz mjerenja najvećeg opsega napuhane gume i dijeljenja te vrijednosti s brojem π .

6.3.4. Zahtjevi za širinu presjeka gume [9]

Ukupna širina gume može biti manja od širine presjeka S određene prema jednadžbi (6.1). Ona može prekoračiti tu vrijednost za 5,5% u slučaju radijalne konstrukcije gume i 8% u slučaju dijagonalne konstrukcije. Iako, za gume sa nazivnom širinom presjeka većom od 305 mm namijenjene za dvostruku montažu, vrijednost određena jednadžbom (6.1) ne smije se prekoračiti za više od 3,5% kod radijalnih guma s nazivnim omjerom oblika većim od 60, dok kod dijagonalnih guma ta se vrijednost ne smije prekoračiti za više od 4%.

6.3.5. Zahtjevi za vanjski promjer gume [9]

Ukupni vanjski promjer protektirane gume mora biti unutar vrijednosti najmanjeg i najvećeg promjera dobivenih idućim izrazima:

$$D_{min} = d + (2H \cdot b) \quad (6.4)$$

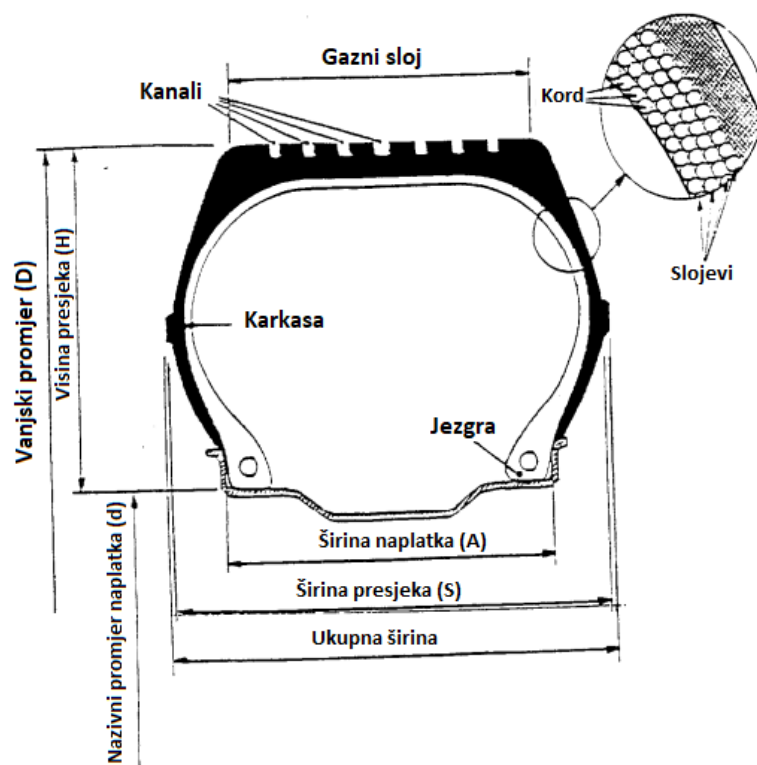
$$D_{max} = 1,015 \cdot [d + (2H \cdot c)] \quad (6.5)$$

Gdje se H i d određuju prema jednadžbama (6.2) i (6.3). Koeficijent „ b “ jednak je 0,97, dok su vrijednosti koeficijenta „ c “ prikazane u tablici 6.1.

Tablica 6.1. Vrijednosti koeficijenta „ c “ za različite gume [9]

	Radijalne gume	Dijagonalne gume
Guma za korištenje samo na normalnoj cesti	1,04	1,07
Guma namijenjena za korištenje na terenskoj i normalnoj cesti i/ili s ograničenim brzinama	1,06	1,09

Na slici 6.8. prikazan je presjek gume s kotiranim dimenzijama.



Slika 6.8. Dimenzije gume [9]

7. Zaključak

Tehnologija protektiranja guma predstavlja način recikliranja gume pri kojemu se istrošena guma ponovno može upotrijebiti. U većini slučajeva razlog neupotrebljivosti gume je istrošenost protektiranog sloja, dok je ostatak gume u funkcionalnom stanju, te se i dalje može upotrebljavati. Tijekom protektiranja gume, izrazito je bitno provesti detaljna ispitivanja karkase gume i ustanoviti je li prikladna za protektiranje. Nakon protektiranja, također je potrebno ispitivanjima utvrditi pouzdanost i kvalitetu protektirane gume. Ukoliko je protektirana guma sigurna za upotrebu i ujednačene kvalitete kao i nova, s ekonomske strane izrazito je povoljno zamijeniti samo protektorski sloj u odnosu na zamjenu cijele gume. Zamjena gaznoga sloja umjesto cijele gume uvelike smanjuje troškove proizvodnje i nabave. Također, protektirana guma osigurava barem 80% prijeđene kilometraže nove gume. Što se tiče zaštite okoliša, protektiranje guma sprječava odlaganje starih guma čime se izravno utječe na veliko smanjenje emisije stakleničkih plinova, te se čuvaju prirodni resursi i energenti pri izradi gume. Ukoliko proizvođač protektirane gume zadovolji sve zahtjeve i ujednači kvalitetu protektirane gume s novom, tehnologija protektiranja predstavlja, po pitanju sigurnosti, ekonomičnosti i zaštite okoliša, izrazito dobru alternativu konvencionalnom načinu zamjene cijele gume.

LITERATURA

- [1.] Lulić Z, Šagi G, Ormuž K.: Pogon vozila – Vučne sile, Bočne sile. 2020.
- [2.] Reimpell J, Stoll H, W. Betzler J.: The Automotive Chassis. Butterworth Heinemann; 2001.
- [3.] <https://tyres.cardekho.com/news/what-is-tyre-retreading-advantages-and-disadvantages> (pristupio 3. veljače 2022.)
- [4.] Banerjee B.: Tyre Retreading. Smithers Rapra; 2015.
- [5.] https://business.michelin.co.uk/tyres/retreading-service?fbclid=IwAR3ughj9RRCQ3ZzcmJ0A-Btc6HYDvUGz2RsGgOMctoL_h5Xa_vEQA80PVe4 (pristupio 3. veljače 2022.)
- [6.] <https://www.apollotyres.com/en-in/car-suv-van/know-your-tyre/tyre-guides/radial-and-bias-ply-tyres/> (pristupio 3. veljače 2022.)
- [7.] Rodgers B.: Tire Engineering: An Introduction. CRC Press; 2021.
- [8.] Lulić Z, Šagi G, Ormuž K.: Konstrukcija vozila – kotači. 2020.
- [9.] AGREEMENT CONCERNING THE ADOPTION OF UNIFORM TECHNICAL PRESCRIPTIONS FOR WHEELED VEHICLES, EQUIPMENT AND PARTS WHICH CAN BE FITTED AND/OR BE USED ON WHEELED VEHICLES AND THE CONDITIONS FOR RECIPROCAL RECOGNITION OF APPROVALS GRANTED ON THE BASIS OF THESE PRESCRIPTIONS, Addendum 108: Regulation No. 109. United Nations; 2010.
- [10.] <https://www.tyresonline.ae/blog/difference-between-radial-and-bias-tyres/> (pristupio 4. veljače 2022.)
- [11.] Lulić Z, Šagi G, Ormuž K. Pogon vozila - Otpori vožnje. 2020.;
- [12.] The Tyre - Rolling resistance and fuel saving, Michelin, 2003.
- [13.] Igor C, Čatić R, Budja I, Nahod B, Ana R. Hrvatsko nazivlje polimerstva. Institut za jezik i jezikoslovlje; 2015.
- [14.] <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/vulcanization> (pristupio 15. veljače 2022.)
- [15.] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shearography> (pristupio 11. veljače 2022.)
- [16.] <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/Radiography/detectionmeasurement.xhtml> (pristupio 12. veljače 2022.)
- [17.] https://www.researchgate.net/figure/Shearography-images-of-tires-where-a-b-portray-bubble-defects-present-in-the_fig1_338209622 (pristupio 14. veljače 2022.)

- [18.] <https://www.businessinsider.com/tires-retreaded-recycling-marangoni-2019-3> (pristupio 12. veljače 2022.)
- [19.] https://www.researchgate.net/figure/Removing-Casing-from-Retread-Mold-Mold-Cure-Process-Courtesy-of-Bridgestone-Firestone_fig1_30862153 (pristupio 14. veljače 2022.)