

# Utjecaj koeficijenta priranja pneumatika na stabilnost cestovnih vozila

---

Čović, Roko

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:065963>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**Roko Čović**

**UTJECAJ KOEFICIJENTA PRIANJANJA  
PNEUMATIKA NA STABILNOST CESTOVNIH  
VOZILA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 21. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za prometno-tehnička vještačenja**  
Predmet: **Prometno tehničke ekspertize i sigurnost**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 4211

Pristupnik: **Roko Čović (0135229249)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj koeficijenta prljanjanja pneumatika na stabilnost cestovnih vozila**

Opis zadatka:

U Diplomskom radu potrebno je objasniti stabilnost kretanja cestovnih prijevoznih sredstava te opisati značaj koeficijenta prljanjanja pneumatika na podlogu. Navesti vrste i značajke pneumatika te analizirati uređaje za ispitivanje koeficijenta prljanjanja. Provesti ispitivanje koeficijenta prljanjanja pneumatika pri različitim uvjetima voženje te analizirati dobivene rezultate.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

dr. sc. Željko Šarić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ KOEFICIJENTA PRIANJANJA  
PNEUMATIKA NA STABILNOST CESTOVNIH  
VOZILA**

**THE IMPACT OF THE COEFFICIENT OF  
FRICTION OF TIRES ON THE STABILITY OF  
ROAD VEHICLES**

Mentor: doc.dr.sc. Željko Šarić

Student: Roko Čović  
JMBAG: 0135229249

Zagreb, ožujak 2017.

# UTJECAJ KOEFICIJENTA PRIANJANJA PNEUMATIKA NA STABILNOST CESTOVNIH VOZILA

## SAŽETAK:

Razvoju pneumatika kakve danas poznajemo predhodilo je otkriće izrade gumene smjese od kaučuka i ostalih materijala, no prave temelje pneumaticima postavljeni su otkrićem postupka vulkanizacije. Upotreba pneumatika u današnje vrijeme je neizostavna pogotovo znajući da ih posjeduju gotovo sva cestovna vozila (automobili, kamioni, motocikli, itd.), pa i radni strojevi kao što su traktori ili bageri. Zbog njihove masovne uporabe u današnje vrijeme proizvođači pneumatika daju veliku pozornost na maksimiziranju svih njihovih kvaliteta, te s druge strane minimiziranju njihovih mana. Jedno od najvažnijih područja na kojima se priželjkuju što bolji rezultati je definitivno područje sigurnosti cestovnog prometa. Zato se provode razna ispitivanja i testiranja kako bi se dobili rezultati koji su pokazatelji performansi određenih pneumatika u različitim uvjetima okoline, vrstama podloga i pri različitim brzinama vožnje.

## KLJUČNE RIJEČI :

Pneumatik, Koeficijent prijanjana, Stabilnost vozila

# THE IMPACT OF THE COEFFICIENT OF FRICTION OF TIRES ON THE STABILITY OF ROAD VEHICLES

## SUMMARY:

The development of the pneumatic tires is the result of the discovery of the rubber composition of caoutchouc and other components, but the real foundations of the pneumatic tire are set by the discovery of the vulcanization process. The use of tires today is inevitable, especially knowing that they own almost all road vehicles (cars, trucks, motorcycles ...) and even working machines such as tractors or dredges. Due to their massive use today, the manufacturers of tires give great attention to maximizing all their quality and, on the other hand, minimizing their flaws. One of the most important areas where the best results are to be expected is definitely the road safety area. Therefore, various tests and examinations are carried out in order to obtain results which are the performance indicators of certain pneumatic tires under different environmental conditions, types of substrates and at different driving speeds.

## KEYWORDS:

Pneumatic, Coefficient of friction, Stability of road vehicles

## Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	POVIJEST RAZVOJA PNEUMATIKA.....	3
3.	VRSTE I ZNAČAJKE PNEUMATIKA .....	6
	3.1 Osnovne vrste pneumatika s obzirom na unutrašnju konstrukciju .....	7
	3.2 Osnovne oznake automobilske pneumatika.....	9
	3.3 Otpor kotrljaja i njegov utjecaj na potrošnju goriva .....	12
	3.4 Kriteriji kod usporedbe kvalitete pneumatika.....	15
	3.4.1 Potrošnja goriva .....	15
	3.4.2 Prianjanje na mokrom tlu.....	16
	3.4.3 Usporedba razine vanjske buke .....	18
4.	UREĐAJI ZA MJERENJE KOEFICIJENTA PRIANJANJA.....	20
	4.1 Uređaji za mjerenje koeficijenta trenja pri zaustavljanju vozila.....	20
	4.2 Mehanički uređaji za mjerenje koeficijenta trenja prianjanja.....	21
	4.2.1 M5-2-COF uređaj .....	21
	4.2.2 GMG-300 uređaj.....	23
	4.2.3 GripTester uređaj .....	24
	4.2.4 ViaFriction .....	25
	4.2.5 ASFT T2GO uređaj .....	28
	4.3 Optički uređaji za mjerenje koeficijenta prianjanja .....	29
5.	UTJECAJ KOEFICIJENTA PRIANJANJA NA SUHOM I MOKROM KOLNIKU .....	30
	5.1 Prikaz koeficijenta prianjanja s obzirom na različite vrste pneumatika i podloge .....	30
	5.2 Utjecaj promjene tlaka pneumatika na koeficijent trenja .....	34
	5.3 Utjecaj temperature na koeficijent trenja .....	35
	5.4 Utjecaj dodirne površine na koeficijent trenja .....	36
	5.5 Mjerenje koeficijenta trenja prianjanja na mokrom i suhom asfaltu .....	42
6.	UTJECAJ KOEFICIJENTA PRIANJANJA S OBZIROM NA BRZINU KRETANJA VOZILA .....	53
	6.1 Usporedba mjernih rezultata s obzirom na različite brzine vožnje na drugačijim podlogama .....	53
	6.2 Analiza rezultata mjerenja koeficijenta prianjanja s obzirom na brzinu vožnje sa i bez ABS sustava u vozilu .....	59
7.	ZAKLJUČAK.....	62

8.	Popis literature.....	63
9.	Popis kratica .....	65
10.	Popis slika.....	66
11.	Popis tablica.....	68
12.	Popis grafikona.....	69



# 1. UVOD

Pneumatik prije svega čini osnovni i neizostavni dio kotača svakog vozila, te predstavlja zrakom napuhan elastični dio izgrađen od gumenog materijala (kaučuk i ostale smjese). Pneumatici imaju neizmjenjenu veliku ulogu prije svega u sigurnosti vožnje motornih vozila na cestama. Oni predstavljaju dodirnu zonu između motornog vozila i podloge po kojoj se kreće. Zbog toga je vrlo bitno da imaju što bolje prianjanje na određenim vrstama podloga. Osim samog prianjanja koje ima najveću ulogu u sigurnosti kroz ovaj rad bit će usmjerena pozornost i na ekonomičnost te udobnost vožnje na koje također utječe pravilan izbor pneumatika. Osim toga važno je ustvrditi da su stabilnost i sigurnost u koloraciji, tako da se poboljšanjem performansi pneumatika postiže dodatna stabilnost na određenim cestovnim podlogama, a samim time se povećava sigurnost vožnje.

Pneumatik mora biti dovoljno čvrst i otporan prema oštećenjima, te izdržljiv za duge vožnje velikom brzinom. Također u svim vremenskim prilikama mora osigurati automobilu dobar dodir s kolnikom da bi se mogle prenositi uzdužne sile pri ubrzanju i kočenju, a bočne sile u zavojima i pri upravljanju automobilom.

Bitno je spomenuti još jednu važnu zadaću pneumatika, a to je udobnost. Naime vrlo važna stvar je ta da pneumatik mora biti dovoljno elastičan da amortizira sve neravnine, izbočenja i udubljenja na neadekvatnim cestovnim putevima, te u što većoj mjeri smanjiti buku tijekom kotrljanja.

Ekonomičnost također predstavlja jednu od najbitnijih parametara pri izboru pneumatika. Da bi oni bili što ekonomičniji važno je da se smanji potrošnja pri većim brzinama i težim opterećenjima. Jednakomjerna potrošnja pneumatika osigurava njegov duži vijek trajanja, te veću pouzdanost. Bolja ekonomičnost utječe na smanjenje otpora kotrljanja i samim tim smanjenje potrošnje goriva.

No teško je istodobno udovoljiti svim tim zahtjevima, jer primjerice neki kontrakcijski zahvati koji poboljšavaju prenošenje uzdužnih sila u drugu ruku povećavaju neke loše osobine pneumatika kao što su povećanje buke i trošenje. Ako se ide sa željom da se izrade pneumatici s manjom potrošnjom to bi se moglo loše odraziti na njihovu čvrstoću pri većim brzinama, te im se zbog malog otpora pri kotrljanju umanjuju elastična svojstva.

Prema tome može se ustvrditi da većina automobilskih tvornica koje su specijalizirane za određeni tip automobila biraju proizvođača „guma“ koji ih opskrbljuje pneumaticima prilagođenim točno za takav tip vozila. Tako da postoje i slučajevi gdje su čak i ovjesi kotača odnosno osovine automobila prilagođeni za određenu vrstu pneumatika.

Cilj ovog istraživanja je prikazati performanse pneumatika na mokroj i tvrdoj podlozi, te ih međusobno usporediti. Na kraju bi se trebao izvući zaključak i uvidjeti kolika je stvarna važnost pravilnog odabira pneumatika u pogledu sigurnosti i stabilnosti vožnje. Ideja je da se

kroz sljedeće cjeline prikaže i detaljno opiše najbitnije stvari o pneumaticima i njihovoj upotrebi u cestovnom prometu. To su sljedeće cjeline:

1. Uvod
2. Povijest i razvoj pneumatika
3. Vrste i značajke pneumatika
4. Uređaji za mjerenje koeficijenta prijanjanja
5. Utjecaj koeficijenta prijanjanja na mokrom i suhom kolniku
6. Utjecaj koeficijenta prijanjanja s obzirom na brzinu kretanja vozila
7. Zaključak

Unutar cjeline povijest razvoja pneumatika kronološki će se prikazati razvoj pneumatika od izuma i upotrebe kaučuka do najnovijih cestovnih pneumatika. Tu će se spomenuti najvažniji izumitelji koji su bili zaslužni za uvođenje „gume“ kao neizostavni element motornih vozila u cestovnom prometu od Thompsona, preko Dunlopa i Goodyeara do braće Michelin.

U drugom poglavlju pozornost se usmjerava na vrste pneumatika i njihov pravilan odabir za određeni tip vozila. To se odnosi na tri osnovne vrste pneumatika s obzirom na konstrukciju radijalne, dijagonalne i kombinirane. Osim toga u ovom poglavlju bit će opisano pravilno označavanje pneumatika, te prikaz njihovih veličina. Dosta pozornosti bit će usmjereno na njihovu klasifikaciju s obzirom na buku, potrošnju goriva i prijanjanje na mokrom kolniku na što će se usmjeriti najveća pozornost prilikom daljnjih istraživanja u predstojeća dva poglavlja.

U predstojećem poglavlju bit će predstavljeni neki od najznačajnijih uređaja za mjerenje koeficijenta prijanjanja korišteni na različite načine. Tu smo izdvojili najvažnije tri skupine uređaja podijeljeni s obzirom na način primjene. Većinom su tu predstavljeni uređaji koji nisu baš poznati u nas, no u svijetu su neizostavni u mjerenju koeficijenta prijanjanja između pneumatika i podloge. Osim toga može se istaknuti jedan koji je korišten u mjerenju za dobivanje podataka koji su korišteni prilikom izrade ovog rada, a to je XL-metar.

U poglavlju „Utjecaj koeficijenta prijanjanja na mokrom i suhom kolniku“ opisano je kako kvaliteta kolnika, pneumatika, te utjecaj vanjskih uvjeta kao što su padaline utječu na veličinu koeficijenta prijanjanja između pneumatika i dodirne površine. Na kraju cjeline prikazani su rezultati mjerenja na mokroj i suhoj podlozi izmjereni XL-metrom u tu svrhu.

U zadnjoj cjelini prikazani su rezultati različitih ispitivanja koeficijenta prijanjanja s obzirom na određene brzine vožnje. Uspoređeni su rezultati ispitivanja izvršeni na površinama različite hrapavosti i pod različitim vremenskim uvjetima, osim toga suprotstavljeni su i rezultati izmjereni na vozilu bez upotrebe ABS sustava i sa primjenom ABS-a.

## 2. POVIJEST RAZVOJA PNEUMATIKA

Otkriće kaučukove smjese čovječanstvo duguje starim narodima iz Srednje Amerike. Neka arheološka otkrića dokazuju da su Asteci i Maje još prije 2500 godina koristili kaučukovu smjesu za izradu odjeće, obuće, posuđa itd. Oni su prvi izvlačili bijelu gustu smolastu tekućinu iz drveta biljke Caa-o-chu, što u prijevodu znači žalosno drvo, te kako bi poboljšali svojstva smjese miješali su je s nektarom jedne druge tropske biljke.

Charles Marie de la Condamine je francuski istraživač koji je 1736. godine poslan u Ekvador da izvrši mjerenje dužine longitude od jednog stupnja na ekvatoru, gdje je za vrijeme ekspedicije došao u kontakt s narodom Chali koji su uvelike koristili kaučuk i prvi je opisao viskoznu tvar koju je nazvao lateks koja se dobivala iz drveta „*Hevea brasiliensis*“. Domorodci su mu čak napravili torbu za optičke instrumente od kaučuka. On je veće količine kaučuka ponio sa sobom u Francusku na dodatna ispitivanja i proučavanja, a skupa sa svojim prijateljima izradio je i prve gumene cipele. Mnogo se očekivalo da će se tada proširiti industrijska proizvodnja i upotreba lateksa u Europi, no tada se guma nije pokazala dobra zbog svojih toplinskih svojstava koji nisu davali dobre rezultate u to vrijeme. Do početka 19. stoljeća otkriveno je još nekoliko značajnih primjena gume. Godine 1821. Amerikanac James Boyd je patentirao gumeno crijevo za vatrogasce. Zatim su Englezi C. Mackintosh i T. Hancock bili zaslužni za veliko otkriće da se guma lako otapa u nafti, te bi tako guma otopljena u nafti postajala viskozna masa. Mackintosh je u to doba izradio prve kišne kabanice tako što je između dva sloja tkanine stavio premaz od gume. T. Hancock je napravio stroj nazvan „mistifikator“ što je bio prvi stroj koji je služio za recikliranje gume. Tako je uvelike povećana efikasnost proizvodnje. Mackintosh i Hancock su osnovali zajedničko poduzeće i postali glavni europski proizvođači i stručnjaci za preradbu kaučuka i proizvodnju gumениh stvari.

Charles Goodyear bio je znanstvenik i kemičar koji je cijeli svoj život posvetio proučavanju gume kako bi poboljšao njena toplinska svojstva. Zanimljivo je istaknuti da se veliko otkriće dogodilo sasvim slučajno 1839. Naime, netko je zabunom stavio kaučukovu smjesu sa sumporom i olovom u peć. Kada je Goodyear osjetio nepodnošljiv smrad sumpora izbacio je uzorak iz kuće na snijeg i tada je primijetio da se ne mijenjaju svojstva na hladnoći, što je do tada bio najveći problem. Nakon toga ponovio je isti postupak nekoliko puta te je uvidio da se ovim postupkom zadržavaju svojstva elastičnosti i čvrstoće u širem temperaturnom okviru. Postupak vulkanizacije patentiran je tek 1844. u Americi, a razlog su navodno veliki dugovi koji su proizašli iz toga. Nedugo nakon toga Goodyear je poslao svog zastupnika u Englesku da pokuša prodati postupak Mackintoshu i Hancocku tadašnjim svjetskim liderima u području gume. Analizirajući uzorak kaučukove smjese sa sumporom Hancock je otkrio da je sumpor povećao toplinsku stabilnost gumene mase, te je zaštitio patent u Velikoj Britaniji pod svojim imenom. Postupak su nazvali vulkanizacija, po Vulkanu, rimskom bogu vatre i metalurgije. Nakon toga uslijedile su tužbe i parnice gdje je Goodyear dobio u mnogim presudama, ali pošto nije imao iskustva u poslovanju na kraju nije uvelike ni profitirao od vlastitog patenta. Najznačajnija uspomena na njegovo ime je veliki proizvođač pneumatika tvrtka Goodyear koja je osnovana 38 godina poslije njegove smrti. Otkriće

postupka vulkanizacije omogućilo je masovnu upotrebu gume, koja je i dan danas ostala jedan od najraširenijih industrijskih materijala u svijetu.

Priča oko Dunlopovog otkrića pneumatika seže još iz davne 1888. godine kada Škot koji je radio kao veterinar došao kući umoran od posla, dočekala ga je buka drvenih kotača sinova tricikla. Iziritiran od toga Dunlop je razmišljao kako riješiti problem da ublaži buku na kotačima, a da sinu ne oduzme omiljenu igračku. Nakon nekog vremena došao je do zaključka da upotrijebi ventil od gumene lopte napuše ga i obloži gumom. Time je postigao primjetne rezultate osim smanjene buke poboljšao je i udobnost vožnje na triciklu. Uz pomoć lijepila i konopa fiksirao je na kotač ventil od gumene lopte te ga obložio dodatno komadima gume. Zato se smatra da je baš on postavio temelje u upotrebi gume na kotačima.

Neki izvori potvrđuju da je i prije Dunlopa upotrebljen pneumatik za kotače. Čovjek koji je prvi registrirao patent davne 1845. radi smanjenja snage potrebne za lakše kretanje transportnih vozila te tako pretekavši Dunlopa za 43 godine je Robert William Thomson.

Thomsonov izum navlaka za transportni kotač (preteča današnje zračnice i pneumatika) stvorena je povezivanjem savijenog platna zasićenog otopinom kaučuka, te se tako nakon postupka sulfuriranja dobije jaki vanjski sloj navlake koja se pričvrsti na drveni kotač. Kod njegovog izuma je karakteristično što je razvio jednu unutarnju zračnicu za manja opterećenja sve do devet zračnica (on ih je tada nazvao cijevima) za teška opterećenja. U to vrijeme Thomson nije uspio pronaći osobu koja bi znala napraviti proizvod po njegovim specifikacijama, te zbog glavnog razloga cijene od 142 funte (što je u to vrijeme bilo jako puno) za komplet kotača projekt je bio osuđen na neuspjeh.

Godine 1865. Thomson je uspio prodati jedan od parnih traktora indijskoj vladi. Taj traktor imao je na kotačima pneumatike od tvrde gume, te se to do tada pokazalo kao prvi uspješan pokušaj korištenja pneumatika na teškim strojevima. Sedamdesetih godina 19. stoljeća Thomsonovi gumeni pneumatici za parne strojeve bili su poznati i diljem Europe. Radeći na napretku svog izuma Thomson je 1867. predstavio poboljšanu verziju kotača za parna vozila što je omogućavalo parnim vozilima vožnju po lošim putevima s manje snage, a pri kretanju po njivama vozila su mnogo manje tonula u tlo. U to doba ovaj izum je predstavljao revoluciju i uvelike povećao primjenu parnih strojeva.

No prvi koji su upotrijebili pneumatike na automobilskim kotačima bili su Francuzi, braća Edouard i Andre Michelin 1895. godine. Braća Michelin vodili su tvornicu gume u Clement-Ferrandu u Francuskoj. Priča počinje tako da je jednog dana biciklista čije su pneumatske gume trebale popravak došao u tvornicu. Ta je „guma“ bila slijepljena za kotač i trebalo je više od tri sata za njeno skidanje i popravak, te se zatim morala ostaviti preko noći da bi se osušila. Sljedećeg dana Edouard je bicikl testirao u tvorničkom dvorištu uvidjevši da se „guma“ ponovo pokvarila nakon odvoženih stotinjak metara. No Edouarda nije pokolebao taj neuspjeh naprosto bio je oduševljen pneumatskim gumama. Taj događaj braću je inspirirao da naprave inovacije na području pneumatika, tako su za početak napravili vlastitu verziju pneumatika koji se nisu trebali lijepiti za kotač. [1]

Tvrtka Michelin osnovana je 28.5.1888. godine. Svoj prvi patent zamjenjivu pneumatsku gumu braća su registrirala 1891. godine, a koristio ju je Charles Terront u svojoj pobjedi na prvoj svjetskoj biciklističkoj utrci na duge staze, Pariz-Brest-Pariz te iste godine.

Na području inovacija pneumatika najznačajniji učinak Michelina bilo je radijalni pneumatik iz 1946. godine koja je tada bila poznata kao „X guma“. Ta „guma“ bila je razvijena za tadašnje Citroenove modele automobila s prednjim pogonom Traction Avant i 2CV. Kasnije su dizajnirali pneumatike za vojne svrhe te za bankovna oklopna vozila. To su bili poznati kao polu-neprobojni pneumatici jer su sadržavali sigurnosni kolut unutar pneumatika, tako da ako bi se probušili mogli su nastaviti na „specijalnoj gumi“ s postavom od pjene. No one su bile pre skupe za opću komercijalnu svrhu za osobne automobile. [1]

Do dan danas Michelin je postao jedan od najvećih, po mnogima i najveći svjetski proizvođač pneumatika. Proizvodnja Michelin pneumatika prostire se u nekoliko zemalja kao što su: Francuska, Njemačka, SAD, Velika Britanija, Kanada, Brazil, Tajland, Japan, Italija i nekolicina drugih zemalja. [1]

### 3. VRSTE I ZNAČAJKE PNEUMATIKA

Iako većina automobilskih pneumatika može biti sastavljena od preko 200 pojedinačnih komponenti, ipak se od njih izdvajaju tri najvažnije skupine, a to su:

- gume (prirodna i sintetska guma)
- punila (čadja, silicij, i dr.)
- aditivi (vulkanizacijski aditivi, antioksidanti, vosak za zaštitu od sunčeva zračenja i sl.) [5]

Guma je čvrsta i vrlo elastična tvar koja se dobiva vulkanizacijom prirodnih i sintetskih kaučuka. U procesu vulkanizacije pomoću sumpora stvaraju se jake kemijske veze između polimernih lanaca kaučuka uz otvaranje nekih dvostrukih veza. Kaučuk tada poprima elastična svojstva, a vlačna čvrstoća je i do deset puta veća u odnosu na nevulkanizirani kaučuk.

Mješavina prirodne 14 % i sintetske gume 27 % čine približno 40 % od komponenti modernog automobilskog pneumatika. Raspodjela opterećenja na profil pneumatika mijenja se s obzirom na brzinu kretanja. Povećanjem brzine trag koji ostavlja pneumatik mijenja oblik s kruga na četverokut. Prilikom umjerenih brzina kretanja gubitak energije u obliku topline odvija se najvećim dijelom preko gazeće površine automobilske gume. Pri većim brzinama kretanja gubitak energije se odvija najvećim dijelom preko unutarnje obloge i bočno. [11]

Glavni konstrukcijski dijelovi pneumatika su:

- gumena gazeća površina (protektor)
- pojas (zastupljen samo kod radijalnih pneumatika)
- noga gume s čeličnom žičanom jezgrom
- nosiva tekstilna unutrašnja struktura (karkasa) [2]

Karkasa je kružno učvršćena na dvjema gumom presvučenim žičanim pletenicama, koje na kotaču naliježu na ramenima naplatka. Izvedena je iz više slojeva gumiranog tkiva (Cord niti čine: rajon, čelična, poliesterska ili aramidna vlakna). Niti su omotane oko dva čelična prstena i učvršćena postupkom vulkanizacije. U gazeću površinu je oblikovan profil gume od različitih žljebova i međulamela. [2]

Noga gume ima zadatak da osigura dobar nasjed pneumatika na naplatku, čime se omogućuje prijenos kočnih i pogonskih sila. Osim toga, centrifugalne sile pri velikim brzinama nastoje povećati promjer pneumatika, a zadatak noge gume je da to sprječava. To je razlog zbog čega je noga gume izrađena od čvrstih žičanih prstena. [2]

Pojas čini više slojeva u pneumatiku uloženi čeličnih niti (tekstilnih, najlonskih ili aramidnih). Pojas se nalazi iznad karkase, a vlakna susjednih slojeva su postavljena dijagonalno. Također ima zadatak da ukrućuje gazeći sloj i sprječava prevelike deformacije. [2]

Protector čine više slojeva tkanja i gumena podloga, a ima zadatak da prigušuje udarce i štiti karkasu. [2]

Oblik profila ovisi o namjeni pneumatika. Za cestu pod snijegom potreban je, na primjer, dubok, grub profil, koji opet nije primjeren za suhe ceste, jer se guma s njim pregrije. [2]

Gazeća površina je izrađena od gumene smjese čiji su glavni sastojci: sirova guma tj. kaučuk (od 30 do 45%), čađa i mineralna punjenja (od 20 do 40%) i ulje (od 0 do 20%). Osim toga, u gumenoj smjesi još ima 5 do 15% različitih posebnih dodataka, o kojima tvornice često čuvaju podatke kao tajnu. Gazeći sloj profiliran je tako da bi se smanjilo klizanje vozila po mokrom kolniku, ali i povećalo prijanjanje uz suhu podlogu. Uzdužni utori profila daju mu bočno vođenje, poprečni utori prenose poprečnu silu, dok su bočna ramena gazećeg sloja prijelaz prema bočnoj gumi i štite karkasu. [2]

Do 1930. godine osnovna sirovina za izradu pneumatika bio je isključivo prirodni sirovi kaučuk, a poslije toga sve se više upotrebljavao sintetički kaučuk. Osobine pneumatika najčešće ovise o razmjeru pojedinih sastojaka i punjenja u gumenoj smjesi. Tvornice su izradile gazeće površine koje pri niskim temperaturama dobro prijanjaju uz skliski kolnik. Međutim, nedostatak tih smjesa je da se razmjerno brzo troše, a to se ublažava odgovarajućim oblikom profila. [2]

### **3.1 Osnovne vrste pneumatika s obzirom na unutrašnju konstrukciju**

S obzirom na unutrašnju konstrukciju osnovna podjela pneumatika je na radijalne, dijagonalne i kombinirane.

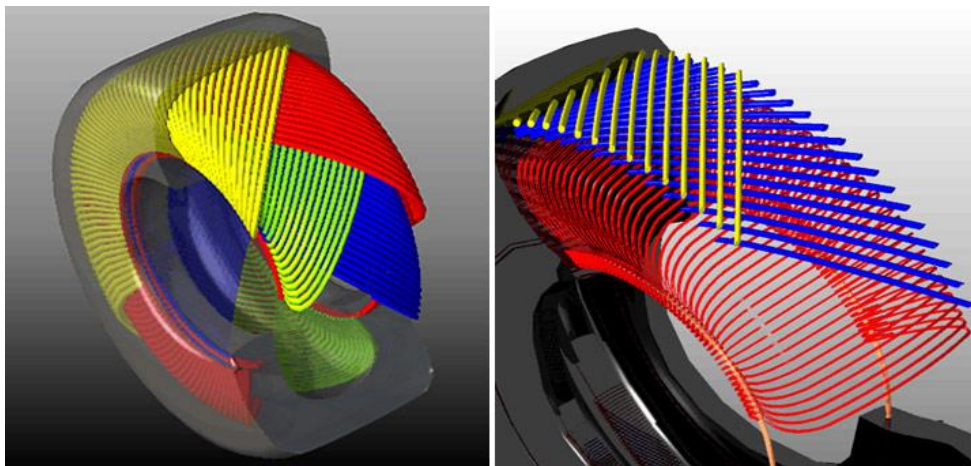
Dijagonalni pneumatici su u današnje vrijeme sve manje u upotrebi na osobnim automobilima, ostale su većinom u upotrebi kao „biciklističke gume“ ili „gume za radne strojeve“. U karkasi dijagonalnih pneumatika niti pojedinih slojeva tkanine se križaju koso zbog čega su i dobile naziv dijagonalni pneumatici. Niti korda za tkanje napravljene su primjerice od rajona (umjetna svila), najlona ili čelika. To tkanje je zapunjeno gumom, te je gumirano tkanje složeno u nekoliko slojeva, a složeni su tako da niti uvijek budu dijagonalne. Kut nagiba kordnih niti prema srednjoj ravnini iznosi između 30 do 40 stupnjeva. Broj slojeva ovisi o veličini gume i težini tereta koji mora prenijeti, on je jednak stopalu i bokovima pneumatika.[2]

Radijalni pneumatici danas su u velikoj mjeri potisnuli iz upotrebe dijagonalne na osobnim automobilima. Po građi unutarnjeg sloja karkase razlikuju se od dijagonalnih tako što su niti radijalnih pneumatika složene poprečno na smjer vožnje, tj. u smjeru polumjera „gume“. Smjer čelične žice je pod kutem od 15 do 20 stupnjeva, dok se vlakna karkase u dva susjedna sloja sijeku pod kutem od 52 do 80 stupnjeva. Važno je da taj pojas daje pneumatiku dodatnu krutost tako da se mogu postizati veće maksimalne brzine. Zbog manjih deformacija gazeće površine radijalni pneumatik ima duži vijek trajanja od dijagonalnog. Oni se nazivaju se još i pojasastima zbog takozvanog pojasa koji je po obodu ugrađen pod gazeću površinu.

To je više slojeva tekstilne (obično 4) ili čelične tkanine (obično 2 sloja) koji su glavni uzrok za prednosti radijalnih pneumatika. Pojas se naime gotovo ne rasteže i tako stabilizira gazeću površinu da profil pri vožnji ne mijenja oblik. To pogotovo vrijedi za pojas koji je istkan od tankih čeličnih niti. Radijalni pneumatik s čeličnim pojasom je zbog složenije izrade uistinu skuplji, ali zato dulje traje. Na mokroj cesti je put kočenja s radijalnim pneumaticima kraći za oko 12 posto. Poprečne su sile (koje vode kotač u zavoj) s radijalnim pneumaticima oko 15 posto veće. Nedostatak radijalnih pneumatika je da se pri manjim, gradskim brzinama kotrljaju kruće, a posljedica je znatna buka na neravnom kolniku. [3]

Radijalni pneumatici koji su punjeni na pravilan tlak znatno su udobniji pri većim brzinama od dijagonalnih, te u jednakim uvjetima mogu izdržati znatno dulje od dijagonalnih. Profil radijalnih pneumatika proklizava znatno manje na kolniku nego profil dijagonalnih, pa zbog toga radijalni pneumatici manje „brišu“ kolnik i stoga se manje troše, smanjuje se i otpor pri kotrljanju, tako da oni istodobno smanjuju i potrošnju goriva. Sve nabrojene prednosti radijalnih pneumatika su pogotovo očite kod onih s čeličnim pojasom, koje se praktički ne rastežu, za razliku od donekle rastezljivih tekstilnih pojaseva. Radijalne pneumatici su skuplji za četvrtinu do polovicu cijene dijagonalnih, ali korisniku nadoknade taj iznos duljim vijekom trajanja i manjom potrošnjom goriva. [2]

Sve prednosti radijalnih pneumatika dolaze do izražaja samo ako su na sva četiri kotača. Nije preporučljivo miješati dijagonalne i radijalne pneumatike, niti same radijalne s tekstilnim pojasom s onima s čeličnim pojasom osim ako je riječ o privremenu rješenju. Preporuka je da na istoj osovini moraju biti sasvim jednaki pneumatici, a kod svih automobila na stražnjoj osovini moraju biti i bolji pneumatici. [2]



*Slika 1. Prikaz dijagonalnog i radijalnog pneumatika  
Izvor: [5]*

Treća vrsta su kombinirani pneumatici što predstavlja kombinaciju strukture radijalnih i dijagonalnih. Ispod gazeće površine ima dva sloja metalnih niti (korda) karakterističnih za radijalne pneumatike, dok je za noseći dio gume primijenjeno dijagonalno tkanje. Ovakva konstrukcija pneumatika nije ispunila očekivanja te su je također radijalni pneumatici polako istisnuli iz upotrebe. [3]



### 3.2 Osnovne oznake automobilskog pneumatika

U ovom poglavlju bit će objašnjene sve oznake na pneumatiku koje nam opisuju u potpunosti njihove karakteristike. Većina današnjih vozača automobila nemaju nikakvu predodžbu o tome što bi oznake koje se nalaze na gumama njihovih „limenih ljubimaca“ mogle značiti. Zapravo radi se o vrlo jednostavnim stvarima to su oznake koje označavaju dimenzije, vrste pneumatika, dozvoljene brzine, opterećenja, konstrukcije, ali i oznake za identifikaciju proizvođača, te su razvrstane i po nekom logičkom slijedu. Njihov sadržaj i format definiran je pravilnikom pod nadležnosti ETRTO-a ( *European Tyre and Rim Technical Organisation*) što bi na hrvatskom jeziku preveli kao „Europska tehnička organizacija za gume“. [5]

Primjerice na sljedećoj slici 2 prikazane su oznake koje označavaju pneumatike namijenjene zimskim uvjetima označene simbolom pahuljice ili M + S oznakom ( M+S= Mud + Snow, blato i snijeg). Sljedeće znamenke na slici predstavljaju datum proizvodnje, prve dvije prikazuju tjedan, a druge dvije godinu proizvodnje. (npr. 0802 označava 8. tjedan 2002. godine). Zatim oznaka MSN ili npr. Radial Design, predstavlja podatak koji nam govori da je pojačana bočna strana pneumatika za zaštitu naplatka od udarca u rubni kamen (ona ovisi o proizvođaču). [7]



*Slika 2. Oznaka određeni tip zimskog pneumatika*

*Izvor: [5]*

Sljedeća slika predstavlja oznaku za pritisak izražen u kPa ( 100 kPa = 1 bar ) i jedan psi iznosi 0,068948 bara.



*Slika 3. Maksimalni pritisak pneumatika*

*Izvor: [5]*

„RADIAL“ predstavlja oznaku za radijalnu konstrukciju pneumatika, a „TUBELESS“ oznaku koja pokazuje da taj tip pneumatika ne koristi zračnicu.



*Slika 4. Radijalna i konstrukcija za pneumatik bez zračnice*

*Izvor: [4]*

Oznaka sa slike 5 govori nam to da se ispod gaznog sloja pneumatika nalazi plašt („TREAD“) koji se sastoji od dva sloja poliesterske tkanine, dva sloja čelične tkanine i jednog sloja najlonske tkanine, te da se u bočnim stranicama pneumatika nalaze dva radijalno usmjerena tkanja od poliestera.



Slika 5. Dodatni opis građe pneumatika  
Izvor: [5]

U sljedećem primjeru na slici 6 prikazani su osnovni i najvažniji podatci o automobilskom pneumatiku:

1. **Širina pneumatika** – gleda se od boka do boka i izražena je u milimetrima. Ova je guma široka 225 milimetara.
2. **Poprečni presjek** – je omjer između visine poprečnog presjeka pneumatika i njegove širine. 55 znači da ta visina iznosi 55 % širine pneumatika. U niskoprofilne spadaju oni pneumatici čija visina poprečnog presjeka iznosi 80 ili manje postotka širine.
3. **Konstrukcija** - govori nam o tome kako je pneumatik sastavljen. „R“ označava radijalnu konstrukciju, a odnosi se na kordne uloške. Ti kordni ulošci zapravo su slojevi tkanine koja čini konstrukciju pneumatika i teku radijalno od stope do stope pneumatika. „D“ znači da pneumatik ima dijagonalnu konstrukciju, tj. da kordni ulošci teku od stope do stope dijagonalno, a slojevi uložaka složeni su u izmjeničnom smjeru da ojačaju jedan drugi.
4. **Promjer kotača** - širina kotača od jednoga kraja do drugoga. To je promjer unutarnjeg ruba pneumatika izražen u colima (promjer kruga koji zatvara noga pneumatika). Promjer ovoga kotača je 18 cola ( 1col=25,4 mm).
5. **Indeks nosivosti** – označava najveće opterećenje u funtama koje pneumatik podnosi kod pravilnoga tlaka zraka. Vrijednost najvećeg opterećenja nalazi se na boku u funtama ili kilogramima.
6. **Indeks brzine** – označava najveću dopuštenu brzinu vožnje s tim pneumatikom. „T“ znači da pneumatik ima najveću radnu brzinu 190 km/h. [6]



Slika 6. Prikaz osnovnih podataka o automobilskom pneumatiku  
Izvor: [6]

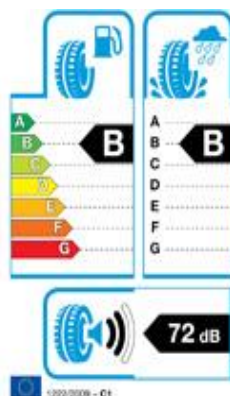
Između ostalog na pneumatiku se mogu zamijetiti i sljedeće oznake kojemu primjetiti na slici 7, a to su:

1. **Svojstvo potrošnje pneumatika (eng. Treadwear)** - označava trošenje pneumatika. 100 je osnovni razred pneumatika po potrošnji. Slikovito prikazano pneumatik s oznakom 200 bi trebao trajati dvostruko duže od onog koji nosi oznaku broj 100.
2. **Prianjanje pneumatika (eng. Traction)** – označava ocjenu prianjanja, odnosno sposobnost pneumatika da se zaustavi na mokroj podlozi. Ocjene su A, B i C. Pneumatik koji je ocijenjena s ocjenom C ima najnižu ocjenu.
3. **Otpornost pneumatika pri porastu temperature (eng. Temperature)** – označava ocjenu za otpornost pneumatika pri porastu temperature. Najviša ocjena je A, pa slijedi B i na kraju C. Bilo koji pneumatik koji je ocijenjen ispod ocjene C smatra se neprihvatljivim.. Tri glavne kategorije prema kojoj se dijele pneumatici su: C1, C2 i C3, odnosno gume za osobna vozila, gume za laka gospodarska vozila i gume za teška gospodarska vozila. [8]



Slika 7. Oznaka za svojstva potrošnje, prianjanja i otpornosti pri većoj temperaturi  
Izvor: [6]

U Europskoj uniji od 1.11.2012. uvedena je norma koja propisuje da svaki novi pneumatik u EU mora imati novu EU oznaku. Ocjene se daju u tri bitna područja učinkovitosti pneumatika a to su: ušteda goriva, prianjanje na mokrim podlogama i razina vanjske buke. Prema tome vidljivi su sigurnosni aspekti pneumatika i aspekti utjecaja pneumatika na okoliš, a rangirani su skalom od A (energetski najpovoljniji razred) do G (energetski najnepovoljniji razred).



Slika 8. Prikaz EU oznake pneumatika  
Izvor: [7]

### 3.3 Otpor kotrljanja i njegov utjecaj na potrošnju goriva

Ušteda goriva ovisno o pneumaticima određuje se na temelju koeficijenta otpora kotrljanja RRC (*eng. Rolling Resistance Coefficient*), a dijeli se po sedam razreda prema ljestvici od A do G, tako da A označava pneumatik s najvišom ocjenom uštede goriva, a G s najnižom ocjenom uštede goriva. [10]

Definicija otpora kotrljanja objašnjava da je to otpor nastaje uslijed deformacije na mjestu kontakta pneumatika i podloge, te se energija goriva troši na deformaciju i zagrijavanje pneumatika.

Na veličinu otpora kotrljanja utječe:

- masa vozila
- izvedba i stanje podloge
- konstrukcijske karakteristike pneumatika (gume)
- geometrijski oblik pneumatika (promjer, širina...)
- tlak zraka u pneumatiku
- brzina vožnje
- ostali faktori (geometrija ovjesa, stanje kočnica, trenje u ležajevima...) [8]

Formula za otpor kotrljanja:

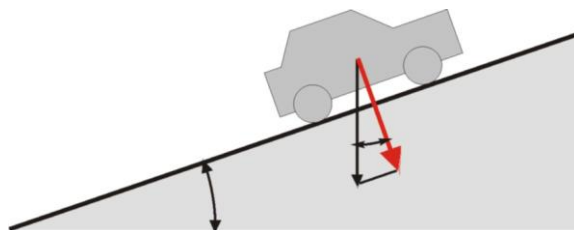
$$F_k = f_k \cdot G_v \cdot \cos\alpha \quad (1)$$

$f_k$  - faktor otpora kotrljanja,  $f_k = f_k(p, v)$

$G_v = m \cdot v \cdot g$  - ukupna težina vozila (prazno vozilo + opterećenje)

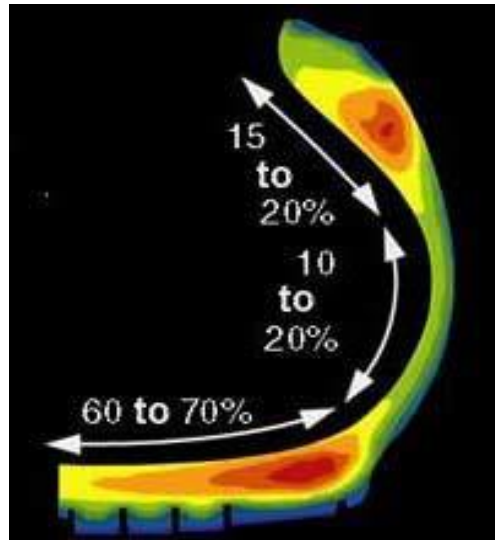
$\alpha$  - kut uspona podloge [10]

Na slici 9 vidljivo je da otpor kotrljanja značajno ovisi i o nagibu podloge, tj. povećanjem kuta uspona smanjuju se otpori kotrljanja.



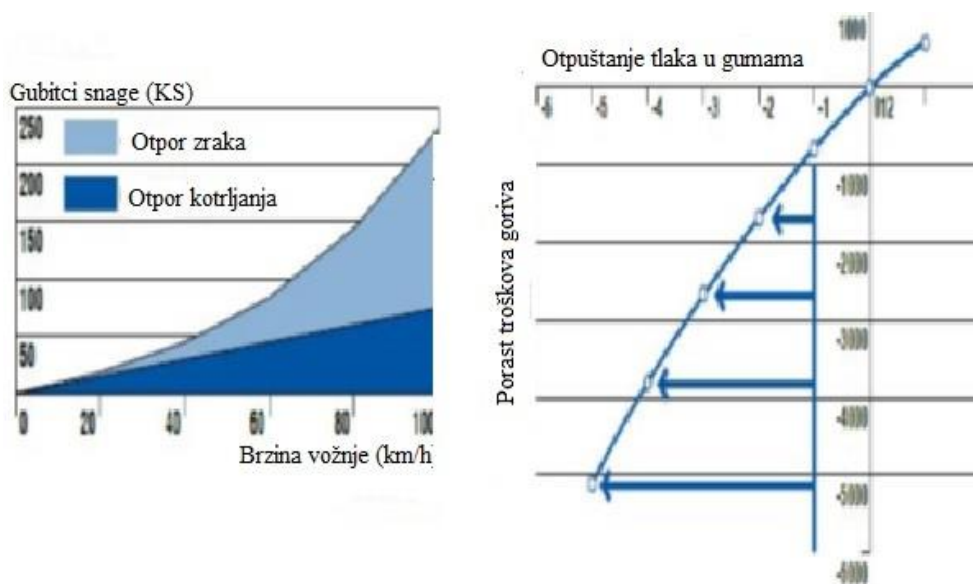
Slika 9. Prikaz otpora s obzirom na kosinu  
Izvor: [8]

Slika 10 prikazuje presjek pneumatika pri deformiranju uslijed vožnje (crveno – označava najzagrijanije dijelove pneumatika odnosno pod najvećim opterećenjem, a plavo – označava dio pneumatika koji nije zagrijan).



Slika 10. Presjek pneumatika uslijed deformacije  
Izvor: [8]

Otpor kotrljanja ovisi i o tlaku zraka u pneumatiku jer odstupanje od 1 bar povećava otpor za 5 %. Na prvom grafu 1 vidljivo je koliko se snage gubi povećanjem brzine kretanja automobila s obzirom na otpor zraka i otpor kotrljanja, dok je na grafu 2 prikazan porast potrošnje goriva s obzirom na opuštanje tlaka u pneumaticima.



Grafikon 1 i 2 prikazuje gubitak snage u ovisnosti o brzini vožnje i odstupanje tlaka u pneumaticima u ovisnosti o troškovima goriva, izvor: [8]

Tablica 1 prikazuje klasifikaciju pneumatika po razredima s obzirom na veličinu otpora kotrljanja. C1 pneumatiki su pneumatiki na osobnom automobilu, C2 predstavljaju pneumatike na lakom dostavnom vozilu, a C3 su pneumatiki namijenjeni teškim teretnim vozilima.

Tablica 1. Osnovni kriteriji za dodjelu razreda otpora kotrljanja, izvor: [9].

C1 pneumatiki		C2 pneumatiki		C3 pneumatiki	
RRC u kg/t	Razred	RRC u kg/t	Razred	RRC u kg/t	Razred
$RRC \leq 6,5$	A	$RRC \leq 5,5$	A	$RRC \leq 4,0$	A
$6,6 \leq RRC \leq 7,7$	B	$5,6 \leq RRC \leq 6,7$	B	$4,1 \leq RRC \leq 5,0$	B
$7,8 \leq RRC \leq 9,0$	C	$6,8 \leq RRC \leq 8,0$	C	$5,1 \leq RRC \leq 6,0$	C
$9,1 \leq RRC \leq 10,5$	D	$8,1 \leq RRC \leq 9,2$	D	$6,1 \leq RRC \leq 7,0$	D
$10,6 \leq RRC \leq 12$	E	$9,3 \leq RRC \leq 10,5$	E	$7,1 \leq RRC \leq 8,0$	E
$RRC \geq 12,1$	F	$RRC \geq 10,6$	F	$RRC \geq 8,1$	F
	G		G		G

Tipični primjer jednog modela automobila s iznimno malim otporom kotrljanja je Daihatsu UFE (*Ultra Fuel Economy*) model iz 2005.



Slika 11. Daihatsu UFE (*Ultra Fuel Economy*) model iz 2005  
Izvor: [8]

Primjerice prosječna potrošnja takvog jednog modela s posebnim pneumaticima niskog otpora kotrljanja iznosi 1,4 l/100 km, dok modeli s običnim pneumaticima imaju potrošnju 1,9 l/100 km (+36%). Ustanovljeno je da smanjenje otpora kotrljanja za 10% smanjuje potrošnju 0,1 l/100 km, a  $v_{\max}$  se povećava za cca 2 km/h.

Zanimljivo je istaknuti da skuteri i mopedi troše najmanji postotak ukupne energije goriva na savladavanje otpora kotrljanja od < 10 %, dok natovareni tegljači troše do 65%.

### 3.4 Kriteriji kod usporedbe kvalitete pneumatika

Pneumatici se mogu usporediti s obzirom na tri glavna kriterija, a to su:

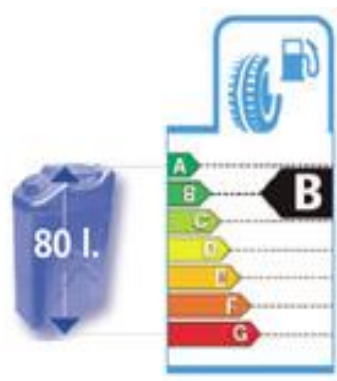
- 1) **Potrošnja goriva** (jedan od pet spremnika goriva se potroši na kotrljanje pneumatika)
- 2) **Prianjanje na mokrom tlu** (ključni sigurnosni faktor)
- 3) **Vanjska buka u vožnji** (zvuk kod kotrljanja pneumatika)

Ovi kriteriji odnose se na sve pneumatike koji se ugrađuju u nove automobile, laka dostavna vozila, kamionete, kombije i autobuse proizvedene nakon 1. srpnja 2012.

#### 3.4.1 Potrošnja goriva

Štedljivost pneumatika s obzirom na potrošnju goriva ocjenjuje se kao i u većini slučajeva prije ocjenama od A do G tako da A označava najštedljivije pneumatike, a G najmanje štedljive.

Primjerice uštede se mogu akumulirati u iznosu okvirno do 300 eura ili 80 litara goriva kroz cijeli radni vijek pneumatika, što bi se odnosilo na automobil koji je opremljen s četiri A pneumatika i koji se kreće brzinom od 80 km/h – on troši 7,5% manje goriva u usporedbi s G pneumaticima. Naime rezultati se mogu mijenjati u ovisnosti o vrsti automobila ili klimatskih uvjeta s tim da postoje razlike u performansama. [10]



Slika 12. Podjela guma na razrede prema potrošnji goriva

Izvor: [10]

### 3.4.2 Prianjanje na mokrom tlu

Prianjanje pneumatika na mokroj podlozi izražava se indeksom prianjanja na mokrom G (eng. wet grip indeks) te se svrstava u jedan od sedam razreda prema ljestvici od A do G, tako da A označava pneumatik s najboljim prianjanjem, a G s najslabijim prianjanjem, odnosno s najdužim zaustavnim putem.

Indeks prianjanja na mokrom iskazuje se pomoću izraza: [10]

$$G(T) = \left[ \frac{\mu_{\text{peak,ave}(T)}}{\mu_{\text{peak,ave}(R)}} \times 125 + a \times (t - t_0) + b \times \left( \frac{\mu_{\text{peak,ave}(R)}}{\mu_{\text{peak,ave}(R_0)}} - 1.0 \right) \right] \times 10^{-2} \quad (2)$$

gdje su:

$\mu_{\text{peak,ave}(T)}$  – koeficijent srednje vršne snage kočenja referentnog pneumatika

$\mu_{\text{peak,ave}(R)}$  – koeficijent srednje vršne snage kočenja testnog pneumatika

$\mu_{\text{peak,ave}(R_0)}$  – koeficijent srednje vršne snage kočenja testnog pneumatika za referentne uvjete koji iznosi 0,85

a – koeficijent koji iznosi 0,4232 za ljetne i 0,7721 za zimske pneumatike

b – koeficijent koji iznosi 8,297 za ljetne i 31,18 za zimske pneumatike

t – temperatura mokre površine za vrijeme provođenja ispitivanja izražena u °C

$t_0$  – temperatura mokre površine za referentne uvjete koja iznosi 20 °C za ljetne i 10 °C za zimske pneumatike

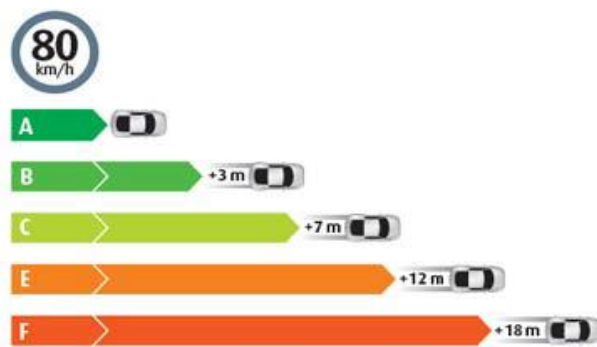
U tablici 2 prikazani su najvažniji kriteriji za dodjelu razreda od A do G s obzirom na koeficijent prianjanja na mokroj podlozi također za osnovne tri skupine vozila (osobni automobili, laka dostavna vozila i teška teretna vozila).

Tablica 2. Osnovni kriteriji za dodjelu razreda s obzirom koeficijent prianjanja na mokroj podlozi, izvor : [9]

C1 pneumatici		C2 pneumatici		C3 pneumatici	
G	Razred	G	Razred	G	Razred
$1,55 \leq G$	A	$1,40 \leq G$	A	$1,25 \leq G$	A
$1,40 \leq G \leq 1,54$	B	$1,25 \leq G \leq 1,39$	B	$1,10 \leq G \leq 1,24$	B
$1,25 \leq G \leq 1,39$	C	$1,10 \leq G \leq 1,24$	C	$0,95 \leq G \leq 1,09$	C
	D		D	$0,80 \leq G \leq 0,94$	D
$1,10 \leq G \leq 1,24$	E	$0,95 \leq G \leq 1,09$	E	$0,65 \leq G \leq 0,79$	E
$G \geq 1,09$	F	$G \geq 0,94$	F	$G \geq 0,64$	F
	G		G		G

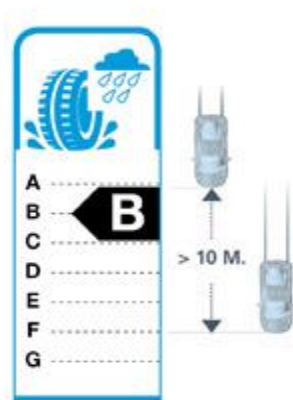


Slikom 13 najbolje je prikazano povećanje zaustavnog puta kod različitih razreda pneumatika pri brzini od 80 km/h. Pri tom je primjetno da pneumatici razreda A odnosno najsigurniji pneumatici imaju najkraći zaustavni put, dok s druge strane pneumatici razreda G najnesigurniji imaju najduži zaustavni put čak oko 18 m.



Slika 13. Prikaz zaustavnog puta kočenja vozila  
Izvor: [11]

Na donjoj slici 14 prikazan je dijagram kojim se ocjenjuju performanse pneumatika prema tome kako dobro koče na mokroj podlozi.



Slika 14. Prikaz intenziteta kočenja na mokroj podlozi  
Izvor: [10]

Ocjene za performanse pneumatika dodjeljuju se redoslijedom od A (najsigurniji pneumatik, najkraći zaustavni put) do ocjene G (najmanje siguran, najduži zaustavni put). Slikovito rečeno zaustavni put može biti kraći za 4 dužine automobila, u slučaju da automobil posjeduje četiri pneumatika ocjene A koji se kreće brzinom od 80 km/h, što bi značilo da može biti do 18 m ili 30% kraći od pneumatika ocijenjenim slovom G.

### 3.4.3 Usporedba razine vanjske buke

Slika 15 prikazuje dijagram koji se odnosi na razinu buke u decibelima (dB) koju proizvodi pneumatik. Položaj pneumatika prema budućim Europskim graničnim vrijednostima s obzirom na razinu buke prikazan je na donjem piktogramu na slici 15. Buka pneumatika u i izvan automobila ne mora se podudarati.

Razina buke može se klasificirati u tri razreda koja su prikazana na sljedećem piktogramu, a to su razredi sa:

- 1) 3 crne crtice - visoka razina buke ali je u skladu s trenutnim EU propisima
- 2) 2 crne crtice - prosječna razina buke, između budućeg ograničenja i 3 dB ispod
- 3) 1 crna crtica - niska razina buke, više od 3 dB ispod budućeg ograničenja



*Slika. 15. Razred vanjske buke kotrljanja  
Izvor: [10]*

Najbitnije stvari na koje kupac treba obratiti pažnju kod odabira pneumatika su:

- **Dugotrajnost pneumatika:** svakom kupcu je prva najbitnija stvar da mu pneumatici što više potraju jer samim tim eliminiraju se troškovi za kupnju novih. Pravi kvalitetni pneumatik može izdržati više od jedne godine dodatne vožnje u usporedbi s drugim pneumatikom
- **Držanje ceste u zavojima:** zanimljiv je podatak da se 25 % nesreća događa u zavojima dok je na suhim cestama zabilježeno otprilike 70% nesreća.

Osim samih pneumatika koji su vrlo važan element sigurnosti i stabilnosti vozila na cestovnoj podlozi i vozači predstavljaju neizostavan čimbenik u tom pogledu. Primjerice pod ekološku vožnju podrazumijeva se manje stiskanje papučice gasa čime se uvelike može uštedjeti na gorivu ali i na potrošnji pneumatika.

S druge strane valja spomenuti i kontrolu pravilnog tlaka u pneumatiku, jer se redovitom provjerom tlaka mogu osigurati manji gubitci energije zbog prevelikog otpora kotrljanja, te optimalne trakcije na mokrom kolniku.

Treća i ne manje bitna stvar je sigurna udaljenost između vozila ili sigurnosni razmak (eng. gap) što predstavlja preventivni element sigurnosti. To je pogotovo bitno na mokrim cestama jer nekad se događa da zbog istrošenosti pneumatika, naglog kočenja, nedostatka ABS sustava u vozilima itd. čovjek loše procjeni razmak i nastaju prometne nesreće.

## **4. UREĐAJI ZA MJERENJE KOEFICIJENTA PRIANJANJA**

Mjerenje koeficijenta prianjanja datira nekoliko stoljeća unazad, a potekli su od interesa vojske za smanjenjem konjske snage za vuču topova. Uređaji za mjerenje koeficijenta trenja prianjanja mogu se podijeliti u tri podgrupe, a to su:

- uređaji za mjerenje koeficijenta trenja pri zaustavljanju vozila na nekoj udaljenosti prilikom kočenja
- mehanički uređaji za mjerenje koeficijenta trenja prianjanja za koje je značajno da se ispitivanja koeficijenta trenja vrše pomoću dodatnog kotača koji se kotrlja po određenoj podlozi i prikuplja potrebne podatke (prijenosni ili dinamički testeri) [23]
- optički uređaji za mjerenje trenja izračunavaju trenje mjerenjem refleksije svjetla s površine ceste. Budući da nemaju izravni kontakt s površinom, nemaju dijelove koji se vode kao mehanički mjerači [18]

Ispitivanje zaustavljanja na određenoj udaljenosti odnosi se na proces zaustavljanja testnog vozila pri određenoj brzini gdje se mjeri i zaustavni put tog vozila. Mjerenje se može provoditi od duljine tragova klizanja koje je vozilo ostavilo ili tzv. metodom „pištolja na kredu“ gdje su kočnice povezane s malim pištoljem ispunjenim praškastom kredom koja označava točku početka kočenja. To ima prednost kod mjerenja punog zaustavnog puta u odnosu na jednostavnije metode mjerenja gdje se mjeri samo udaljenost od točke gdje su kotači počeli blokirati odnosno kliziti. U metode ispitivanja zaustavljanja na određenoj udaljenosti spada i jedina metoda koja je korištena u ovom radu, a to je mjerenje XL-metrom što će detaljnije biti objašnjeno u predstojećem dijelu teksta.

### **4.1 Uređaji za mjerenje koeficijenta trenja pri zaustavljanju vozila**

Jedan od najznačajnijih predstavnika i nama najdostupnijih uređaja ovog tipa sigurno je XL-metar. To je mjerni uređaj koji služi za mjerenje usporenja i ubrzanja vozila. Uređaj sadrži vakuumski priljepak koji mu omogućuje dobro prianjanje na vjetrobransko staklo s unutrašnje strane vozila. Karakterizira ga to da može snimiti podatke od osam mjerenja, a upotrebljava se i za ispitivanje koeficijenta prianjanja pneumatika, te duljine zaustavnog puta vozila. Ovaj uređaj je korišten za prikupljanje podataka za ovaj rad o čemu će više biti riječi u narednom poglavlju.



*Slika 16. XL-metar*

## **4.2 Mehanički uređaji za mjerenje koeficijenta trenja prijanjanja**

### **4.2.1 M5-2-COF uređaj**

M5-2-COF uređaj za mjerenje koeficijenta trenja prijanjanja obično uključuje motorizirano ispitno postolje i COF (*eng. Coefficient of Friction Fixture*) učvršćenje. S kapacitetom od 2 lbF [10 N] uređaj se može koristiti za mjerenje trenja za širok raspon materijala. Statički i kinetički koeficijenti prikazuje se na LCD zaslonu s pozadinskim osvjetljenjem, a izračunavaju se iz korisničkog programskog sučelja.

Podaci se mogu prenijeti na PC ili skupljače podataka preko USB, RS-232, Mitutoyo (Digimatic) ili analognih izlaza. Uključena je memorija na broju do 1000 čitanja, kao i statistički izračuni s izlazom na računalo. Sigurnosna lozinka štiti od neovlaštenih promjena postavki.

M5-2-COF se također može koristiti za niz uobičajenih aplikacija za ispitivanje napetosti i kompresije. Uređaj se temelji na serijskim brojčanim digitalnim mjeračima sile serije Mark-10, a obuhvaća niz cjelovitih funkcija i postavki.

M5-2-COF uključuje „MESUR™ Lite“ softver za prikupljanje podataka. Taj softver prikazuje podatke iz kontinuirane ili pojedinačne baze podataka. Podaci spremljeni u memoriju uređaja također se mogu skupno preuzeti. Izvoz jednim klikom u Excel lako omogućuje daljnje manipulacije podacima.



*Slika 17. Digitalni mjerac sile serije Mark-10  
Izvor: [12]*



*Slika 18. G1086 COF uređaj  
Izvor: [12]*

G1086 COF uređaj je sastavni dio „COF“ sustava za mjerenje, obično uključuje motorizirano ispitno postolje i „COF“ mjerac. G1086 se može koristiti za širok raspon materijala. Uređaj uključuje veliki radni stol sa stezaljkom, podešavač razine, sanjke, kabel i remen s malom hrapavošću. Uređaj je izravno kompatibilan s M5-2-COF mjerilom, ESM303 ispitnim postoljem i ESM301 motoriziranim ispitnim postoljem.

## 4.2.2 GMG-300 uređaj

GMG-300 je mobilni klizni uređaj za mjerenje trenja namijenjen za ispitivanje uličnih površina. Omogućuje ponovno određivanje svojstva otpornosti na klizanje npr. asfalta. Može se uz to koristiti i kao premijerni test nakon mjera gradnje ili čišćenja ceste nakon prometnih nesreća.

Uređaj pohranjuje sve mjerne krivulje i klizne vrijednosti trenja u internu memoriju podataka i odmah prikazuje rezultate mjerenja na integriranom zaslonu. GMG ima PC sučelje za prijenos podataka u „GMG-VD“ softver za daljnju analizu i snimanje.

GMG-300 je razvijen u suradnji s GGUV-om (Njemačka udruga za osiguranje kvalitete za čišćenje prometnih površina i rehabilitaciju nesreća).

Glavne značajke GMG-300 uređaja :

- 1) Mobilni mjerni uređaj s integriranim baterijama
- 2) Robustan dizajn
- 3) Jednostavan testni prikaz mjerenih vrijednosti
- 4) Radni prikaz i stanje napunjenosti
- 5) Prikaz memorije i mjerne trake
- 6) Jednostavna aktivacija načina mjerenja
- 7) Mjerenje pohranjivanje podataka i nakon što je uređaj isključen
- 8) „RS232“ sučelje za prijenos podataka i daljnju obradu pomoću „GMG-VD PC“ softvera. [13]

Kod pripreme za mjerenje, traksijski remen se izvlači iz mjernog uređaja ili kućišta i pričvršćuje se na klizač koji se zatim postavlja na odsjek ceste koji se mjeri. Tijekom mjerenja, klizač se povlači pri konstantnoj brzini i snima se potrebna sila (koja ovisi o koeficijentu trenja prijanjanja podloge). Ispitno područje ima zadanu duljinu na kojoj se mjeri. U evaluaciji se uzimaju u obzir samo 1000 mm - 500 mm. Rezultati evaluacije kao i trenutnog povlačenja trake mogu se odmah očitati s integriranog LCD zaslona.

Uređaj se između ostalog odlikuje i jednostavnošću upotrebe. Upotrebljava se tako da se prvo pritisne gumb „Bandauszug“ (nakon što je GMG-300 uključen), te se zatim izvuče remen do svoje pune duljine. (Traka se također može izvaditi na željenu duljinu i poravnati pomoću gumba "Stop"), nakon toga se pričvrsti kraj remena na klizač i uređaj je spreman za mjerenje. Tijekom mjerenja klizne vrijednosti trenja zabilježene su laganim istezanjem remena i pritiskom na gumb "Start". Za svaku seriju mjerenja potrebno je zabilježiti pet mjernih koraka. Četiri od njih se kombiniraju u takozvani testni ciklus tijekom analize. Može se pohraniti ukupno 18 mjernih serija.

Nakon završetka serija mjerenja, GMG se može povezati s računalom ili prijenosnim računalom. Svi snimljeni podaci prenose se klikom miša na softver za vizualizaciju GMG-VD. Nakon nadopunjavanja željenih dodatnih informacija vezanih uz seriju mjerenja, rezultati mjerenja i grafikoni mogu se izdati i tiskati u standardnom PDF izvješću.



*Slika 19. GMG uređaj  
Izvor: [13]*

#### **4.2.3 GripTester uređaj**

GripTester Mk2 je vodeći svjetski uređaj za mjerenje kontinuiranog trenja koji se koristi u više od 300 zračnih luka širom svijeta od Aljaske, Brazila pa sve do Kine. GripTester Mk2 odgovara svim važnijim međunarodnim standardima, uključujući ICAO, FAA i UK CAA. Ističe se jednostavnošću sustava, te uređajem za mjerenje trenja temeljenog na prikolici pružajući temeljite i točne rezultate što ga čini neizostavnim instrumentom za mjerenje prvenstveno upotrebljavan u održavanju zračne luke.

Osim GripTestera Mk2 od iste kompanije razvijena je i manja inačica mjernog uređaja tzv. mikro GripTester. Koristi iste principe mjerenja kao i GripTester Mk2, no mikro GripTester je dizajniran za testiranje površinskog trenja na područjima gdje GripTester Mk2 ne može ići, kao što su pješačke staze, mostovi, zatvoreni prostori, oznake i parkirališta u i oko terminala zračne luke i cestovnim prometnicama.



*Slika 20. Grip Tester  
Izvor: [14]*



#### 4.2.4 ViaFriction

ViaFriction je kompjuterski upravljani uređaj za mjerenje koeficijenta trenja pomoću električne kočnice za upravljanje brzinom kotača. Taj zasebni kotačić neovisan je o ostalim kotačima na vučnom vozilu. Osnovna karakteristika ovog mjernog uređaja je mjerenje trenja kolnika u zimskim i ljetnim uvjetima. Ovim uređajem mjeri se trenje između mjernih kotača i podloge, a vrhunska mjerna tehnologija osigurava stabilnost i pouzdanost podataka u svim uvjetima. Također značajno je i to da ga karakterizira velika trajnost.

ViaFriction koristi se za mjerenje uzdužnog koeficijenta sila trenja. Neprekidno mjeri trenje pomoću različitih metoda, uključujući fiksno klizanje (princip skiddometra). Uzdužni klizni postotak može se podesiti od 1% do 85%.

Tijekom određenih ispitivanja dokazano je da ViaFriction ima vrhunske karakteristike u usporedbi s drugim uređajima na tržištu, a velika mu je prednost što daje ponovljena mjerenja za različite uvjete i zadržava kalibraciju tijekom vremena. Upotreba ovog uređaja zamišljena je kao prikolica (ne zahtijeva instalaciju na specifično vozilo) iza pogonskog vozila koji ga vuče. Može ga se koristiti pomoću baterija, ali može biti povezan i putem konektora od 12V/40A za punjenje baterije. ViaFriction postiže komunikaciju s računalom u automobilu pomoću bežične veze ili internetskog kabela.

ViaFriction se sastoji od jedinice za mjerenje koeficijenta trenja i sustava za zalijevanje pneumatika, te se može lako ugraditi na prikolicu, zajedno sa spremnikom od 1000 litara, koji omogućuje 30 kilometara mjerenja. Velika je razlika između ljetnog i zimskog mjerenja. Uređaj može biti montiran:

- Na prikolici isključivo za zimsko mjerenje
- Na ljetnoj prikolici sa spremnikom za vodu
- Ispod kamiona
- Izravno na stražnjem djelu vozila

##### 4.2.4.1 Zimsko mjerenje

Prilikom zimskog mjerenje uređaj se izlaže niskim temperaturama, te utjecaju soli, šljunka itd. posutog po cestama. ViaFriction je izgrađen od najkvalitetnijih materijala i komponenti kako bi se osiguralo optimalne rezultate čak i u surovim zimskim uvjetima okoline. Toplina koju ViaFriction proizvodi u fazi rada služi da uređaj smanji izloženosti leda i snijega.



*Slika 21. ViaFriction uređaj za zimske uvjete mjerenja  
Izvor: [15]*

#### 4.2.4.2 Ljetno mjerenje

Što se tiče ljetnog mjerenja neizmjerljivo je važno da je vodeni film koji se koristi za hlađenje pneumatika konstantan i ima jednaku debljinu (0,5 mm na cesti 1,0 mm na zračnim lukama). Također je važno da vodeni sprej ne opere površinu ceste za kontaminante. Napredni sustav pumpe mjeri brzinu vozila i izračunava točnu brzinu vode, tako da nema učinka pranja.



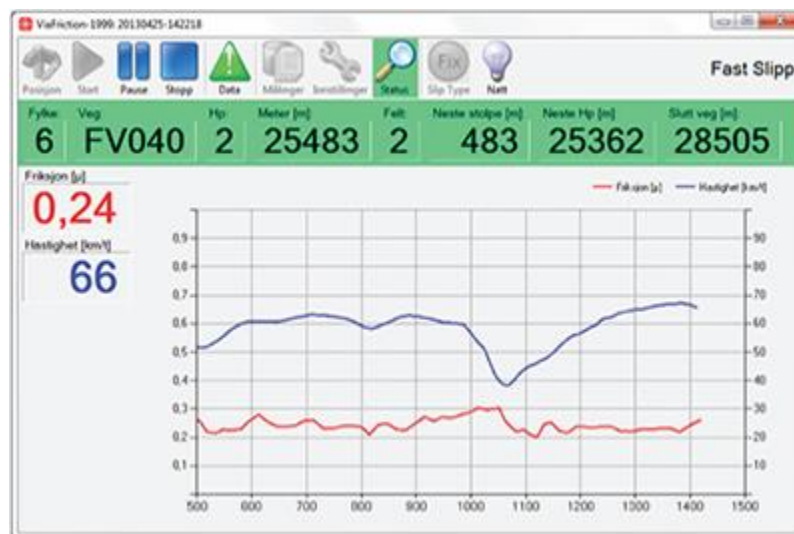
*Slika 22. Prikaz hlađenja pneumatika na uređaju  
Izvor: [15]*

Uređaji isporučeni tijekom cijele godine uključuju spremnik za vodu u tu svrhu. Spremnik se može nalaziti unutar vozila, ili ako je potreban veći spremnik u zasebnoj prikolici. U slučaju zasebne prikolice ViaFriction se može montirati izravno na prikolicu kao što je prikazano na slici 23.



Slika 23. ViaFriction uređaj za ljetne uvjete mjerenja  
Izvor: [15]

Sučelje ViaFriction softvera karakterizira to da vozač upravlja programatorom ViaFrictiona pomoću programa Windows PC. Program može pored normalnog PC sučelja, raditi i pomoću LCD zaslona osjetljivog na dodir. Mjerenja se mogu prenijeti putem mobilnog širokopojasnog pristupa od vozila do davatelja odluka pomoću ViaLink-a, memorijske kartice ili prijenosom u stvarnom vremenu ViaWEB-u. Ta se mjerenja zatim mogu analizirati pomoću programa ViaPlot ili Microsoft Excel. Snimanje trenja često se kombinira s ViaPhoto programom za dokumentaciju cestovnog standarda i izvršenih radova održavanja.



Slika 24. ViaFriction softver  
Izvor: [15]

#### 4.2.5 ASFT T2GO uređaj

ASFT T2GO predstavlja svestrani tip prijenosnog uređaja za mjerenje koeficijenta trenja koji ispunjava sve stroge zahtjeve i ISO standarde. Prednost mu je ta što može mjeriti trenje na bilo kojoj površini i suhoj i kontaminiranoj, te je idealan za mjerenje u područjima gdje je teško pristupiti s većim prikolicama ili ispitivačem trenja tipa većeg vozila.

Uređaj je bluetooth vezom spojen s PDA (*eng. Personal Digital Assistant*). Početak mjerenja započinje se pritiskom na starter koji se nalazi na ručki uređaja. Brzina mjerenja je 3 - 5 km/h. Interval mjerenja se podešava na uređaju i može iznositi od 0,1 m. Za završetak mjerenja potrebno je ponovno pritisnuti starter. Na kraju mjerenja podaci se uploadaju na PDA pomoću odgovarajućeg softwera. Najveće prednosti kod upotrebe ovog uređaja za mjerenje koeficijenta prianjanja su:

- Jednostavna obuka i kalibracija uređaja
- Preciznost/točnost mjerenja
- Brzina rada
- Određivanje područja mjerenja
- Trenutan upload podataka na računalo [16]

Kao najveći nedostatak ovog uređaja izdvaja se visoka cijena nabavke.

U posljednjem poglavlju bit će prikazani neki podaci izmjereni ovim uređajem i uspoređeni s podacima dobivenim XL-metrom stavljeni u kontekst s različitim brzinama vožnje prilikom mjerenja.



Slika 25. ASFT T2GO mjerni uređaj

Izvor: [17]

### 4.3 Optički uređaji za mjerenje koeficijenta prianjanja

RCM411 i DSP310 optički uređaji za mjerenje koeficijenta trenja prianjanja ugrađuju se na automobil kao što je vidljivo na slici 27, a mobilni telefoni su poslužili kao zasloni i korisnička sučelja oba uređaja. Testiranjem ova dva uređaja u zimskim uvjetima došlo se do zaključka da je DSP310 davao bolje rezultate na autocestama, gdje se gusti snijeg i slojevi leda pojavljuju rjeđe nego na manjim cestama, dok je s druge strane RCM411 djelovao dobro i na manjim cestama i na autocestama. Zatim RCM411 je prilikom tog testiranja zabilježio ledene uvjete češće od DSP310, a zanimljivo je i to da je RCM411 zabilježio led često u situacijama gdje je uređaj za mjerenje prijavio snježne ili uvjete rastopljenog snijega (tzv. bljuzge). Što se tiče uvjeta rose i vlage tijekom ispitivanja i mjerenja DSP310 uređaj se pokazao mnogo precizniji od RCM411 uređaja koji rosu i vlagu uopće nije zabilježio. Prema istraživanju optički mjerači pokazali su se zadovoljavajućima osobito u situacijama kod pojave leda i stoga se ovi optički uređaji mogu preporučiti kao pomoćni alat za kontrolu kvalitete održavanja u zimskim uvjetima na cesti. Međutim zahtjevi točnosti za kontrolu kvalitete održavanja za zimske uvjete su iznimno visoki. Stoga se uređaji za ispitivanje trenja kočenja uvijek moraju koristiti za dodatnu provjeru optičkih mjerenja u situacijama kada optički uređaji pokazuju trenje približno ili ispod očekivanih zahtjeva.



Slika 26. DSP310 terenski optički uređaj (gore) i optički terenski uređaj RCM411 (dolje)  
Izvor: [18]

## 5. UTJECAJ KOEFICIJENTA PRIJANJANJA NA SUHOM I MOKROM KOLNIKU

Kroz ovo poglavlje bit će prikazane promjene na koeficijenu prijanjanja s obzirom na vrste podloga, a najviše se potencira razlika između mokre i suhe podloge.

Važno je napomenuti da vrijednost (statičkog) koeficijenta prijanjanja ovisi o brzini vozila, stanju pneumatika i uvjetima na cesti. To vrijedi za asfalt, beton i kolnik u dobrom stanju. Istaknimo u to da je koeficijent trenja prijanjanja u slučaju klizanja (blokirani kotači) obično niži od (statičkog) koeficijenta trenja prijanjanja.

### 5.1 Prikaz koeficijenta prijanjanja s obzirom na različite vrste pneumatika i podloge

U sljedećoj tablici 3 iskazano je kako se koeficijent trenja prijanjanja mijenja s obzirom na različite vrste podloga pri različitim brzinama kretanja vozila.

Tablica 3. Prikaz koeficijenta trenja prijanjanja u ovisnosti o brzini vožnje, izvor: [8]

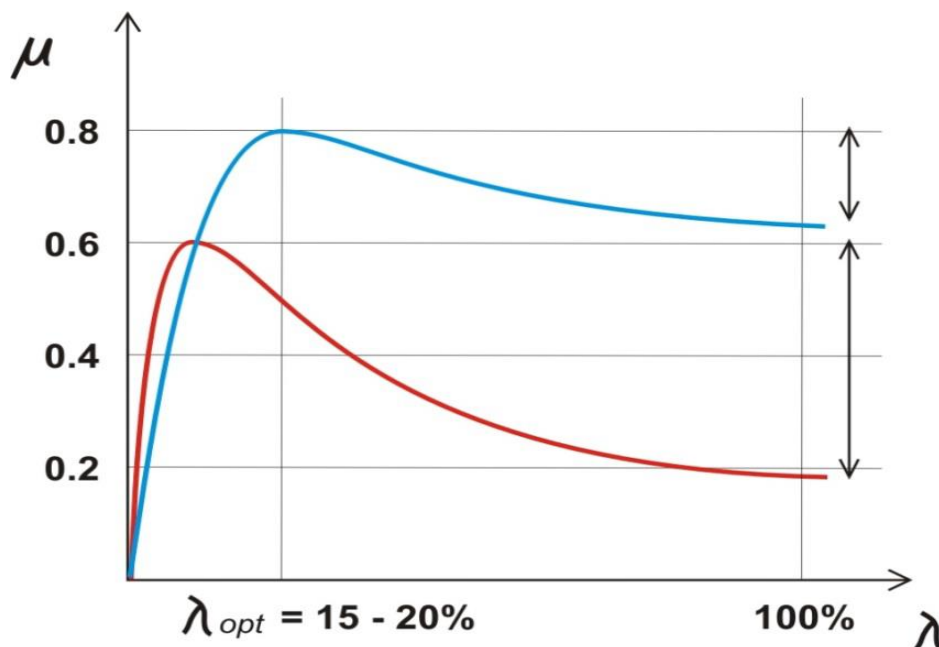
Brzina vozila (km/h)	Stanje pneumatika	Suhi uvjeti	Mokri uvjeti oko 0,22 mm dubine (koeficijent statičkog trenja prijanjanja- $\mu_{HF}$ )	Dubina oborinskih voda oko 1 mm dubine ( $\mu_{HF}$ )	Lokve vode oko 2 mm dubine ( $\mu_{HF}$ )	Poledica
50	novi	0,85	0,65	0,56	0,5	0,1 i više
	istrošeni	1	0,5	0,4	0,25	
90	novi	0,8	0,6	0,3	0,05	
	novi	0,95	0,2	0,1	0,05	
130	istrošeni	0,75	0,55	0,2	0	
	novi	0,9	0,2	0,1	0	

Tablicom 4 prikazano je koliko varira koeficijent prijanjanja na različitim podlogama kao što su trava, blato, glina, pijesak ilovača itd.

Tablica 4. Prikaz koeficijenta trenja prijanjanja za pneumatike te pneumatike i lance na neasfaltiranim putovima (travnata površina, ilovača, glina, zemljani put, makadam, šljunak, pijesak), izvor: [8]

Vrsta podloge	Koeficijent prijanjanja $\mu_h$	
	Gume	Gume s lancima
Trava, blato	0,55...0,25	0,9...0,65
Pješčana ilovača	0,45...0,5	0,55...0,7
Muljna ilovača i glina	0,55...0,4	0,6...0,8
Glinena ilovača i glina	0,55...0,3	0,55...0,9
Površinski sloj tla	0,4...0,3	0,7...0,35
Šljunak	0,35...0,3	0,3...0,25
Pjesak	0,3...0,2	0,3...0,35

Tipični prikaz različite vrijednosti koeficijenta trenja prijanjanja suhi kolnik u odnosu na mokri kolnik prikazan je grafikonom 3. Plava linija na grafu prikazuje vrijednosti karakteristične za suhi kolnik u kojima je vrijednost  $\lambda < 10\%$ , a crvena linija predstavlja vrijednosti dobivene za mokri kolnik gdje je vrijednost  $\lambda > 50\%$ .



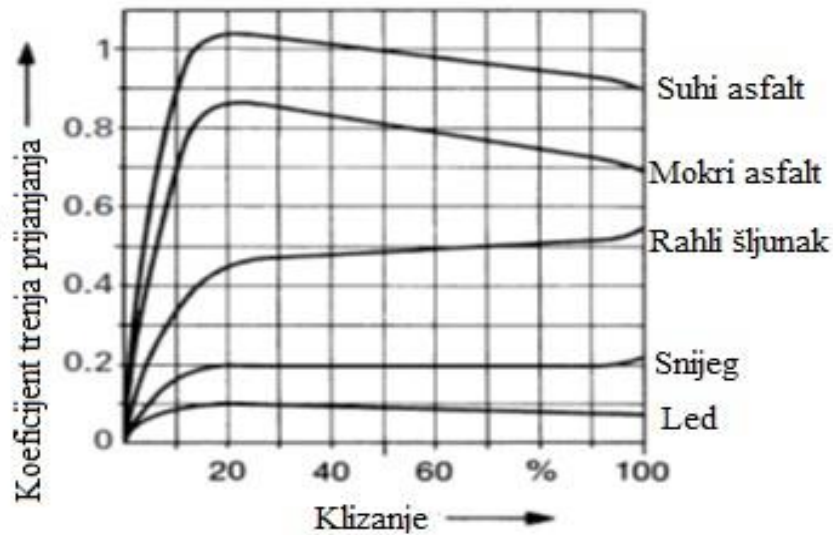
Grafikon 3. Razlika u koeficijentu trenja prijanjanja na suhom i mokrom kolniku, izvor: [8]

Formula za koeficijent trenja prijanjanja u ovom slučaju izgleda ovako: [14]

$$\mu = F_t / G_a \quad (3)$$

Najveće usporenje kotača je obično kod  $\lambda = 10 - 30\%$ . Prekoračenjem maksimalne moguće sile kočenja smanjuje se efekt kočenja ( $\mu$  opada, posebno na mokrom kolniku). U ekstremnom slučaju dolazi do potpunog blokiranja kočenih kotača (čisto translatorno klizanje,  $\lambda = 100\%$ ).

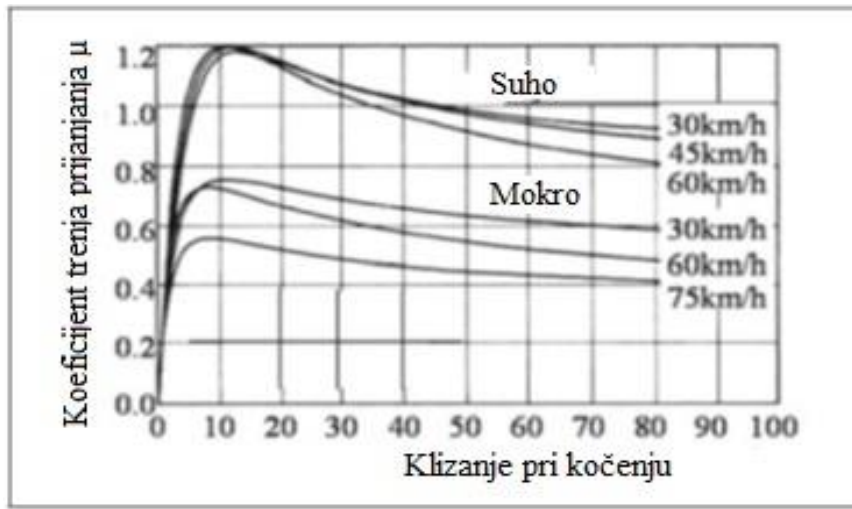
Na grafikonu 4 prikazani su koeficijenti trenja prijanjanja za ljetni pneumatik kod brzine 60 km/h ovisno o klizanju za različite podloge (suhi i mokri asfalt, šljunak, snijeg, led).



Grafikon 4. Prikaz koeficijenta trenja prijanjanja za ljetni pneumatik kod brzine 60 km/h, izvor: [8]

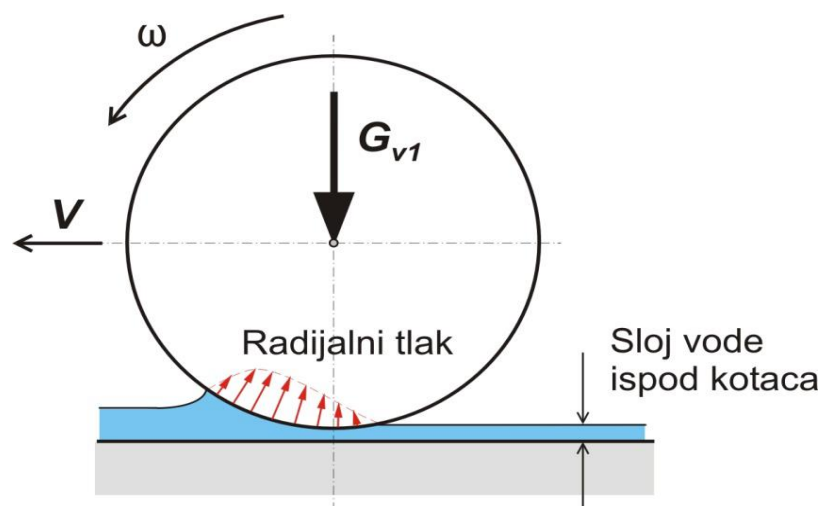
Grafikonom 5 prikazane su promjene trenja prijanjanja za suhi i mokri asfalt pri različitim brzinama.





Grafikon 5. Koeficijent trenja priranja ovisno o klizanju pri kočenju za suhi i mokri asfalt pri različitim brzinama vožnje, izvor: [8]

Posebni slučaj nagle promjene koeficijenta priranja predstavlja izraz glisiranje ili aquaplaning. To je proces koji predstavlja glisiranje pneumatika po površini vode, a događa se kada radijalni pritisci podignu kotač, te tako nastaje vodeni klin, odnosno dolazi do gubitka kontakta između kolnika i pneumatika. Naime ta pojava nije nimalo bezazlena jer naglo smanjenje trenja između kotača i podloge uzrokuje nemogućnost skretanja kočenja i ubrzavanja. [10]



Slika 27. Glisiranje (Aquaplaning)  
Izvor: [8]

## 5.2 Utjecaj promjene tlaka pneumatika na koeficijent trenja

Promjena tlaka u pneumatiku uvjetuje promjenu kontaktne površine, te je značajno za dva slučaja:

- **Suhi kolnik**- promjena tlaka ne utječe bitno na  $\mu_a$
- **Mokar kolnik**- padom tlaka pada i pritisak na podlogu, pa se istiskuje manje vode ispod gume, te se time smanjuje se  $\mu_a$ .



*Slika 28. Prikaz kako trošenje pneumatika ovisi o tlaku zraka njima  
Izvor: [8]*

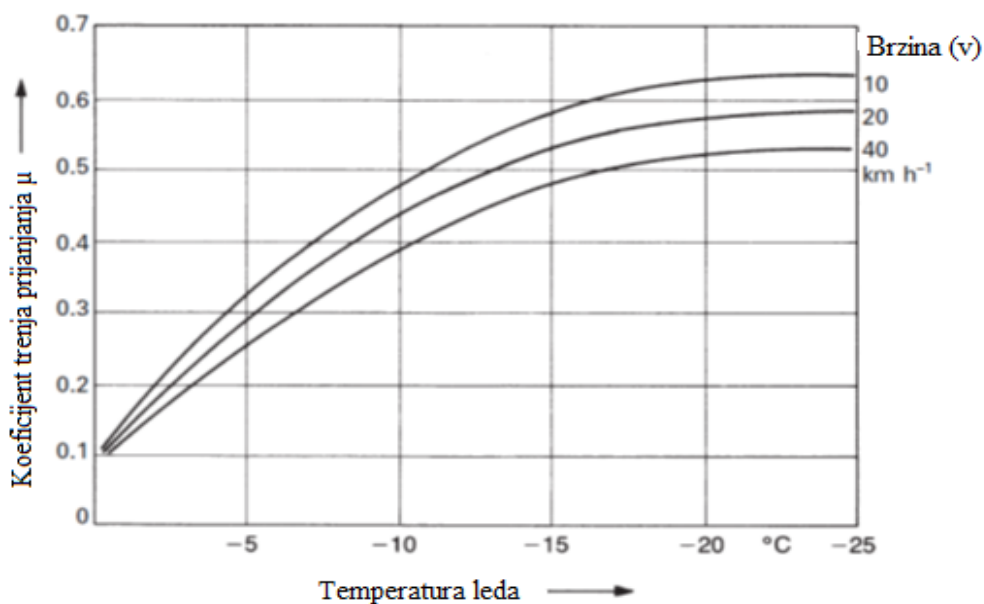
Slikom 28 prikazano je kako izgledaju optimalno napumpani pneumatici u odnosu na lošije dvije izvedbe nedovoljno napumpanog i prenapumpanog pneumatika. Za sigurno prometovanje važno je da su pneumatici napumpani na najidealniji tlak, te tako i u morim uvjetima najbolje istiskuju vodu ispod kotača.

### 5.3 Utjecaj temperature na koeficijent trenja

Poznato je da i temperatura okoline ima izniman utjecaj na promjenu koeficijenta prijanjanja pneumatika. Što je pneumatik zagrijaniji bolje je prijanjanje na podlogu.

Važnost temperature s obzirom na poledicu očituje se u dva slučaja:

- **poledica pri 0° C ( $\mu_a \approx 0.05$ )** – sam po sebi led ne stvara glavnu opasnost, u ovom slučaju veću opasnost predstavlja sloj vode koji nastaje taljenjem leda uslijed pritiska kotača, te se dešava to da pneumatik klizi odnosno glisira na vodi.
- **poledica pri -10° C ( $\mu_a \approx 0.15$ )** - manje je opasno od prvog slučaja zbog toga što nema brzog otapanja leda ispod kotača, te su tangencijalne sile stoga veće.



Grafikon 6. Utjecaj brzine vožnje i temperature leda na koeficijent trenja prijanjanja (za zimske pneumatike), izvor: [8]

Na prethodnom grafikonu 6 vrlo dobro je prikazano kako je manji koeficijent trenja na ledu od približno 0° C nego primjerice pri nižim temperaturama od ispod - 20° C pri kojima led postaje znatno čvršći.

## 5.4 Utjecaj dodirne površine na koeficijent trenja

Ne zanemariv utjecaj na sigurnu vožnju ima i dubina utora na protektorskom sloju pneumatika. Važnu ulogu imaju različite vrste utora na protektorskom sloju, te se po tome međusobno razlikuju primjerice pneumatici za mokru i suhu podlogu, te zimski i ljetni pneumatici. Osim toga postoje i trkači pneumatici primjerice tu se mogu izdvojiti pneumatici s potpuno glatkim protektorskim slojem bez utora (eng. Slick tires), pneumatici za suho ili mokro (eng. Intermedia tires) i pneumatici za potpuno kišne uvjete (eng. Full wet tires).

Elementi kao što su materijal gume, oblik šara, površina kanala i dubina kanala na protektorskom (gaznom) sloju uvelike ovisi o namjeni gume. Tako se prema profilu mogu razvrstati tri glavna skupine pneumatika, a to su ranije spomenuti:

- 1) Ljetni pneumatici:** su pneumatici koji se upotrebljavaju na automobilima u najdužem periodu godine, zato moraju imati solidne karakteristike na suhoj podlozi, ali i na mokroj skliskoj podlozi. Napravljeni su od mekše smjese u odnosu na zimske što im omogućuje bolje karakteristike u pri temperaturama iznad 7 °C. U životu se ljudi često zapitaju zašto ne bi mogli koristiti „ljetne gume“ cijelu godinu nego u zimskom razdoblju moraju investirati u zimske? Odgovor na to je poprilično jednostavan, a stvar je u mješavini odnosno materijalu koji uzrokuje da se zbog toga ljetni pneumatici na niskim temperaturama ispod 7 °C stvrdnu, te tako smanjuju prianjanje na podlogu. Većunu ljudi zanima i odgovor na pitanje kada je došlo vrijeme da se stari pneumatici zamjene novima? Zamjenu je najbolje izvršiti nakon što pneumatici prestanu više „držati“ na cest, ili nakon što dubina profila postane manja od 2,5-3 mm, odnosno ako su pneumatici stariji od 3-4 godine. Gume starije od 8 godina moraju se obavezno promijeniti. Ljetna guma je najučinkovitija na temperaturi (asfalta) iznad 25 °C.
- 2) Zimski pneumatici:** U odnosu na ljetnu zimski je pneumatik napravljena od drugačije gumene smjese te je otporniji na promjenu temperature, odnosno na hladnoću. Pad temperature ispod 7°C uzrokuje da se smjesa „zimske gume“ neće stvrdnuti kao što bi se to desilo s ljetnim, te u takvim uvjetima zimska guma bolje „drži cestu“, a uz to još i posjeduje posebne lamele, dubine profila od 8 milimetara na gaznom sloju za bolju apsorpciju snijega i leda. Može se istaknuti još jednom da je oznaka za zimske gume M+S (Mud+Snow; blato i snijeg ili imaju istaknut simbol snježne pahuljice). Dubina utora na gaznom sloju ne smije biti manja od 1,6 mm, a preporuča se 4 mm. Osim toga preporučljivo je povećati tlak u zimskim pneumaticima u odnosu na ljetne za 0,2 bara, čime se pospješuje svojstva pneumatika, a pametno bi bilo napraviti izmjenu starih „zimskih guma“ novima nakon odvožene tri sezone. Prema podacima u prometnoj dozvoli zimski pneumatici trebaju biti istih dimenzija kao ljetni.
- 3) Cjelogodišnji pneumatici:** predstavljaju gume koje su namijenjene za vožnju kroz cijelu godinu. Cjelogodišnje gume su pokušaj svjetskih proizvođača da

naprave gumu koja će se dobro ponašati i ljeti i zimi što je nemoguće na našem podneblju gdje zimi temperatura pada ispod 0 °C, a ljeti se penje na preko 30 °C.

Cjelogodišnje gume obično imaju loše rezultate na testiranjima guma jer su premekane za ljeto, a pretvrde za zimu. Ljeti se troše značajno brže od ljetnih guma, a zimi se ponašaju značajno lošije od zimskih guma. Primjer su recimo ADAC-ovi testovi za zimu 2011. godine gdje niti jedna cjelogodišnja guma nije dobila ocjenu “Vrlo preporučljiva” niti “Preporučljiva” što je dovoljan pokazatelj kako se cjelogodišnje gume ponašaju po ledu, snijegu, kiši i niskim temperaturama.

Najveći mamac za kupovinu cjelogodišnjih guma je financijska ušteda u smislu da nam ne trebaju ljetne i zimske gume ali kad malo bolje razmislimo to baš i nije tako jer se cjelogodišnja guma jako brzo troši na visokim temperaturama i teško da može izdržati više od 2 godine na zadovoljavajućoj razini. Na taj način nemamo adekvatne gume preko ljeta niti preko zime dok kupovinom dva kompleta namjenskih guma tj. komplet ljetnih i komplet zimskih guma imamo situaciju da ljeti vozimo na ljetnim gumama, a zimi na zimskim i pravilnim korištenjem (održavanje tlaka gume, pravilno skladištenje i sl.) normalan vozač može biti zadovoljan 4-5 godina.

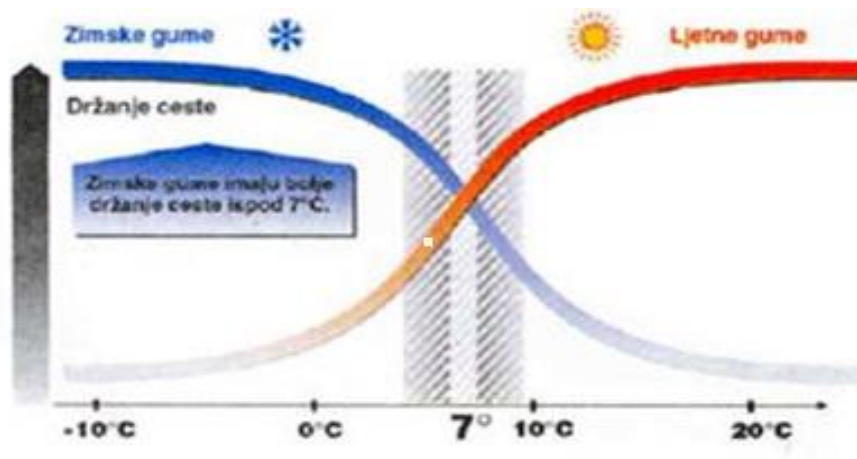
Cjelogodišnja guma je prihvatljiva u zemljama koje nemaju prevelike oscilacije u temperaturi kao što su Engleska, Irska, Wales, Španjolska i sl. [19]

Na slici 29 najbolje se vidi razlika između dubine, površine i oblika kanala na protektorskom sloju između ljetnih, zimskih i cjelogodišnjih pneumatika.



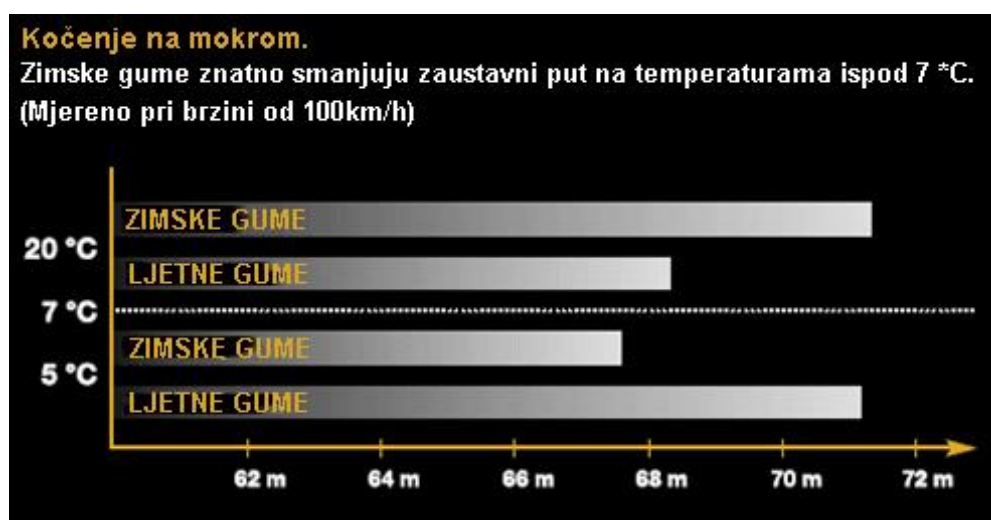
*Slika 29. Ljetni i zimski pneumatici  
Izvor: [19]*

Slijedećoj slici 30 prikazano je kako se ljetnim pneumaticima smanjuje „držanje na cesti“ snižavanjem temperature okoline od 7°C na niže, a zimskim pneumaticima se smanjuje „držanje na cesti“ povećanjem temperature iznad 7°C.



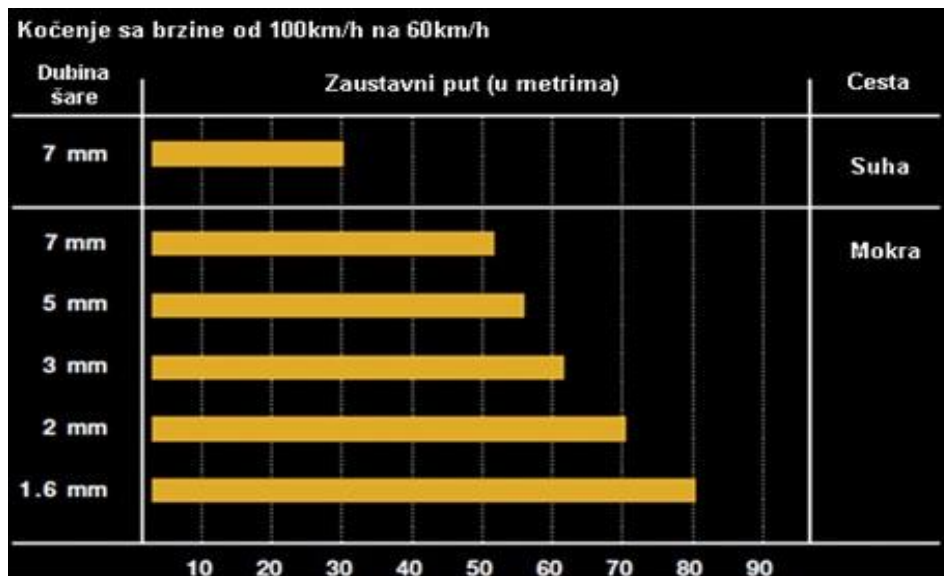
Slika 30. Ovisnost „držanja ceste“ o temperaturi  
Izvor: [19]

Na grafu 7 vidljivo kako je zimskom pneumatiku potreban znatno duži zaustavni put da se zaustavi na 20 °C pri brzini od 100 km/h u odnosu na ljetni pneumatik. S druge strane može se vidjeti koliko treba zimskim i ljetnim pneumaticima za zaustavljanje pri 5 °C, pri čemu ljetni pneumatik ima duži put kočenja u odnosu na zimski.



Grafikon 7. Kočenje na mokroj podlozi, izvor: [19]

Na grafu 8 može se vidjeti koliko je potrebno gumi sa 7 mm gaznog sloja da smanji brzinu kretanja sa 100 km/h na 60km/h i isti taj pneumatik, ali s manjom dubinom kanala tj. istrošenu ljetnu gumu. Po ovome se da zamjetiti da je novom pneumatiku po suhoj podlozi potrebno 30 metara da smanji brzinu sa 100 km/h na 60 km/h, a npr. potrošenom pneumatiku na mokroj podlozi sa 1,6 milimetara gaznog sloja je potrebno 80 metara da smanji brzinu sa 100 km/h na 60 km/h.



Grafikon 8. Usporedba zaustavnog puta kod ljetnih guma, izvor: [19]

Zaustavni put, potrošnja goriva i nestabilnost u zavoju se povećava što su pneumatici više potrošeni. Na grafu 9 može se vidjeti put zaustavljanja novog i potrošenog ljetnog pneumatika, gdje se jasno vidi da pri kretanju vozila od 100 km/h novi pneumatici staju, a vozilo na potrošenim pneumaticima (od 1,6 mm dubine šare) se u istom tom trenutku kreće brzinom 44 km/h te mu je potrebno još 18,60 metara da se zaustavi.



Grafikon 9. Zavisnost zaustavnog puta o dubini kanala gazećeg sloja pneumatika, izvor: [19]

Dubina utora mijenja se trošenjem pneumatika, te se iskazuje formulom: [8]

$$\lambda = h/h_0 \cdot 100\% \quad (4)$$

$\lambda$  - relativna dubina utora [-]

$h$  - stvarna dubina utora [mm]

$h_0$  - dubina utora novog pneumatika [mm]

Propis:

$h_{\min} > 1,6$  mm, ljetni pneumatici

$h_{\min} > 4$  mm, zimski pneumatici

$h_v$  -visina sloja stojeće vode na kolniku [mm]

Za razliku od klasične kolničke podloge na specifičnim mekšim podlogama (zemlja, pijesak, snijeg,...) tangencijalna sila nastaje zbrojem **sile trenja** i sile **odsijecanja materijala**.

To je prikazano sljedećom formulom: [8]

$$F_T = A \cdot \tau + G_a \cdot \mu = F_{od} + G_a \cdot \mu \quad (5)$$

$F_T$  - tangencijalna sila (sila trenja) [N]

$M_p$  - pogonski moment [Nm]

$A$  - površina otiska [m<sup>2</sup>]

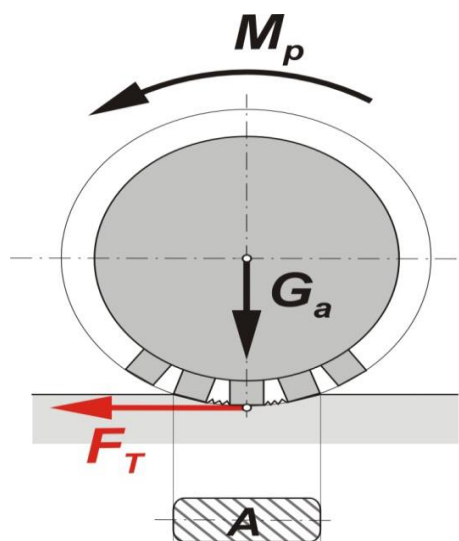
$\tau$  - čvrstoća zemljina odsijecanja

$G_a$  - opterećenje kotača na pogonskoj osovini (adhezivno opterećenje) [N]

$\mu$  - koeficijent adhezivnog trenja

$F_{od} = A \cdot \tau$  - sila odsijecanja materijala [N]

$\gamma = \arctan \mu$  - nagib porasta tangencijalne sile [°] [8]

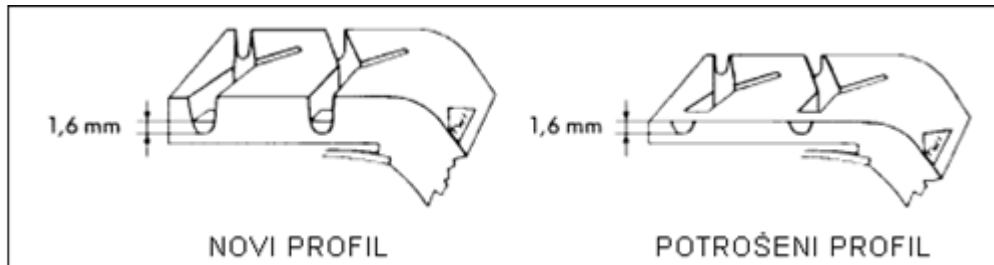


Slika 31. Prikaz djelovanja tangencijalne sile na mekoj podlozi

Izvor: [8]

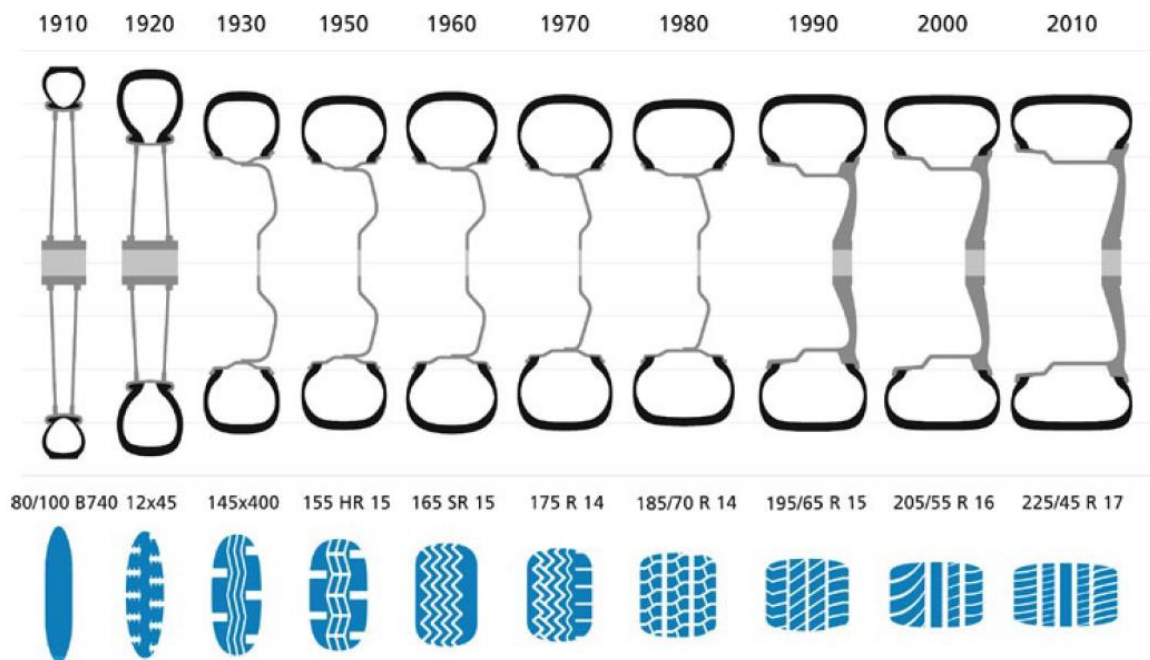


Istrošenost pneumatika i stanje profila gaznog sloja uvelike utječe na ponašanje vozila tijekom vožnje. Zbog toga je preporučljivo postaviti tzv. indikatore istrošenosti pneumatika TWI (eng. *Tread Wear Indicator*) na protektorski sloj. Oni se postavljaju u kanale na gaznom sloju i kada se oni dosegnu zbog potrošnje pneumatika, to je znak da je potrebno zamijeniti „gumu“ novom jer je preostala dubina kanala ostala još samo 1,6 mm. [5]



Slika 32. Prikaz novog profila gaznog sloja u odnosu na istrošeni  
Izvor: [21]

Vrlo zanimljiv prikaz razvoja kontaktne površine pneumatika kroz povijest gdje je vidljiv izuzetan napredak od početnih jednostavnih dijagonalnih pneumatika do složenih radijalnih pneumatika prikazan je na slici 33.



Slika 33. Razvoj kontaktne površine guma kroz povijest  
Izvor: [8]

## 5.5 Mjerenje koeficijenta trenja prijanjanja na mokrom i suhom asfaltu

U svrhu ovog ispitivanja upotrebljeno je testno osobno vozilo Fakulteta prometnih znanosti, riječ je o testnom vozilu marke Škoda Felicia 1,3 GLXI iz 1996. godine, crvene boje, benzinski motor, snage 50 [kW], zapremine motora 1289 cm<sup>3</sup> s djelomično potrošenim cjelogodišnjim pneumaticima „Sava adapto“ na kojima su vidljive oznake „M+S 166/70R13 79T“, što bi značilo da je riječ o pneumatiku koji se može koristiti u snježnim i blatnim uvjetima, širine od boka do boka 166 mm, visina poprečnog presjeka iznosi 70 % širine pneumatika, oznaka „R“ daje naglasak da se radi o radijalnom pneumatiku, širina unutarnjeg ruba pneumatika iznosi 13 cola, najveće opterećenje pneumatika iznosi 79 lb, zatim „T“ označava najveću radijalnu brzinu pneumatika od 190 km/h. Također bitno je napomenuti da automobil nije opremljen ABS sustavom kočenja.

U svrhu ovog istraživanja upotrebljen je mjerni uređaj XL-metar koji je također dio opreme FPZ-a odnosno „Zavoda za prometno-tehnička planiranja.“ Riječ je o praktičnom mjernom uređaju koji se uz pomoć vakuumske postolja lagano fiksira na vjetrobransko staklo. Zatim se prije mjerenja podese „xy“ koordinate na uređaju tako da budu na 0 u obje osi. Prije samog početka ubrzavanja vozila bilo je potrebno pritisnuti tipku za početak mjerenja, te nakon izvršenog kočenja pritisnuti tipku za kraj mjerenja nakon čega je odmah bilo moguće vidjeti rezultate mjerenja na zaslonu uređaja (osim grafova koji su bili vidljivi tek kada se uređaj poveže sa softverskim sučeljem).



*Slika 34. Testno vozilo Škoda Felicija GLXI*



*Slika 35. Prikaz cjelogodišnji „Sava“ pneumatika testnog vozila*

XL-metrom su dobiveni podaci za zaustavni put kočenja ( $s_0$ ) u [m], brzinu u trenutku kočenja ( $v_0$ ) u [km/h], zatim vrijeme reakcije vozača ( $T_{br}$ ) u [s], te usporenje vozila u [ $m/s^2$ ]. Bitno je napomenuti da su rezultati mjerenja XL-metrom prikazani i u obliku a/t dijagrama koji prikazuje odnos akceleracije(a) odnosno deakceleracije(k) i proteklog vremena mjerenja (t) u sekundama.

Mjerenje je provedeno na dvije vrste podloga mokroj i suhoj pri različitim brzinama vožnje 30 km/h i 50 km/h. Rezultati mjerenja vidljivi su u sljedećoj tablici 5.

Tablica 5. Prikaz rezultata mjerenja prilikom kočenja testnog vozila

		suhi asfalt		mokri asfalt	
		30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
<b>1. mjerenje</b>	$s_0$ [m]	5,73	15,72	5,38	16,59
	$v_0$ [km/h]	31,40	54,41	30,14	52,84
	$T_{br}$ [s]	1,30	2,,12	1,27	2,22
	MFDD [ $m/s^2$ ]	7,14	7,15	6,85	6,62
<b>2. mjerenje</b>	$s_0$ [m]	5,38	14,07	5,74	16,17
	$v_0$ [km/h]	31,12	50,32	30,32	52,53
	$T_{br}$ [s]	1,23	1,99	1,30	2,17
	MFDD [ $m/s^2$ ]	7,58	6,91	6,53	6,75
<b>3. mjerenje</b>	$s_0$ [m]	5,85	14,94	5,71	13,77
	$v_0$ [km/h]	32,16	50,99	30,29	48,60
	$T_{br}$ [s]	1,29	2,11	1,32	1,97
	MFDD [ $m/s^2$ ]	7,37	6,73	6,67	6,72

Iz prikazane gornje tablice mogu se usporediti primjerice rezultati izmjereni XL-metrom na suhom i mokrom asfaltu pri brzini najbližoj 30 km/h, a to je u testiranju na suhoj podlozi iznosilo točno 31,12 km/h, dok je na mokroj to iznosilo 30,14 km/h. Zanimljivo je to da iako je brzina vožnje bila za 1,02 km/h veća pri vožnji na suhom asfaltu put kočenja ispao identičan na obje podloge. Razlog takvog rezultata može se naći u vrstama pneumatika i u trenutnoj zagrijanosti kočnica. Kao što je već ranije spomenuto vozilo je bilo opremljeno na obje osovine s četiri cjelogodišnje gume, a poznato je da ova vrsta cjelogodišnjih guma daje bolje rezultate na mokroj podlozi pri manjim brzinama, tako da se to nameće kao glavni razlog ovakvih rezultata.

S druge strane zanimljiva je usporedba pri većoj brzini od preko 50 km/h gdje je utjecaj mokre podloge došao više do izražaja, odnosno dao očekivanije rezultate. Kao primjer zanimljivo bi bilo izdvojiti dvije najbrže vožnje prilikom kočenja na obje vrste podloge. Tu se vidi kako je put kočenja kraći odnosno iznosi 15,72 m pri brzini od 54,41 km/h na suhoj podlozi u odnosu na najbrže ostvarenu vožnju na mokroj cesti koja je iznosila 52,84 km/h ostavivši trag kočenja od 16,52 m što je duže za 80 cm iako je brzina bila manja za 1,57 km/h.

Važno je napomenuti da podloga nije bila pokrivena slojem nakupljene vode na površini što bi vjerojatno dalo potpuno drugačije rezultate. Mokri asfalt po kojem se vršilo testiranje bio je umjereno vlažan nakon otopljenog površinskog snijega kao što je najbolje vidljivo na slici 36.



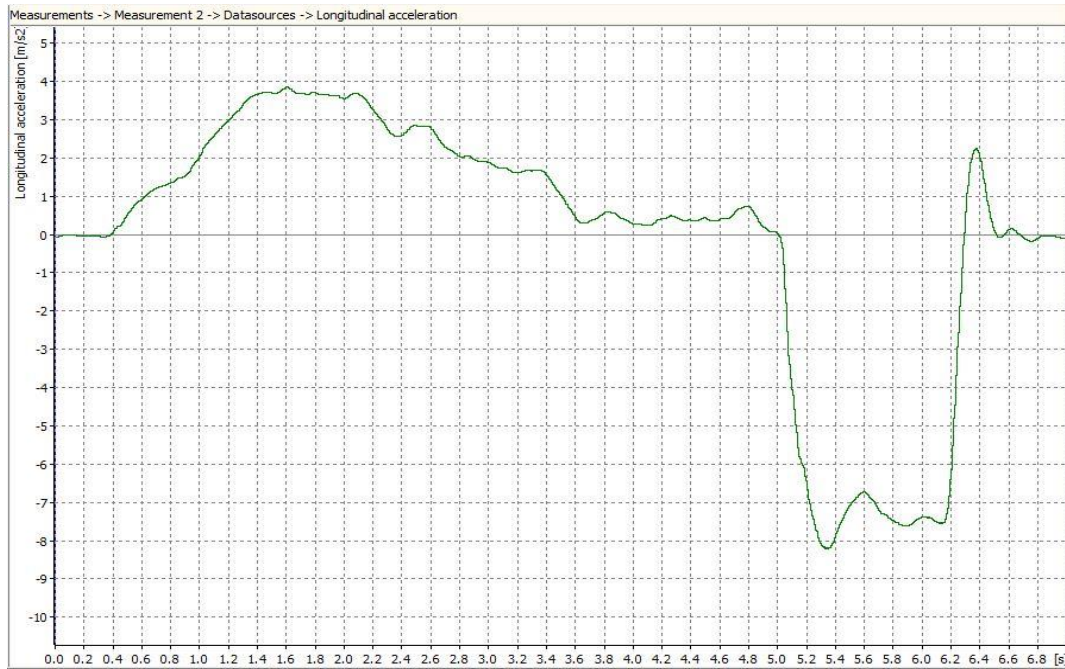
*Slika 36. Prikaz mokre podloge za vrijeme testiranja*

Sljedećim grafovima prikazani su rezultati mjerenja XL-metrom točnije grafički podaci prilikom kočenja testnog vozila. Svako mjerenje prikazano je dvjema vrstama grafova prvo prikaz longitudinalne akceleracije u odnosu na vrijeme mjerenja ( $t$ ), a drugo lateralna akceleracija s obzirom na vrijeme ( $t$ ). Razlika između longitudinalne ( $x$ ) i lateralne ( $y$ ) akceleracije je u tome da longitudinalna konfiguracija ne daje stacionarnu informaciju o brzini kretanja i osjetljiva je na „drift“ procijenjene veličine, dok je lateralna konfiguracija netočna pri malim brzinama kretanja i ne daje informaciju o predznaku brzine kretanja vozila. [24]

Prilikom mjerenja na suhom asfaltu XL-metrom je dobiveno osam grafičkih podataka, tj. dva grafa za svako od ukupno tri mjerenja pri dvjema različitim brzinama od 30 km/h i 50 km/h.

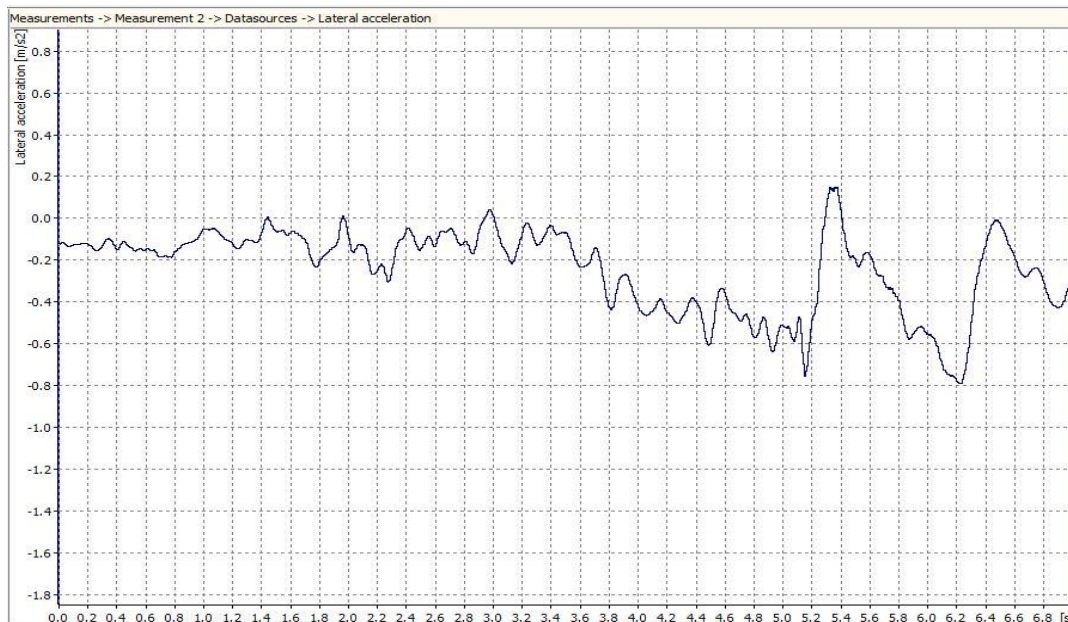
U pretstojećem dijelu teksta bit će prikazani grafovi za samo jedno mjerenje gdje je brzina vožnje bila najbliža 30 km/h prije kočenja na suhom asfaltu (to je u 3. mjerenju gdje je brzina prije kočenja iznosila 31,12 km/h).

Na grafu 10 vidljivo početno ubrzanje do približno  $4 \text{ m/s}^2$  do najveće točke usporenja za vrijeme kočenja od malo više od  $-8 \text{ m/s}^2$  zabilježeno s obzirom na uzdužni pravac kretanja odnosno longitudinalnu os  $x$ .



Grafikon 10. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 31,12 km/h na suhom asfaltu

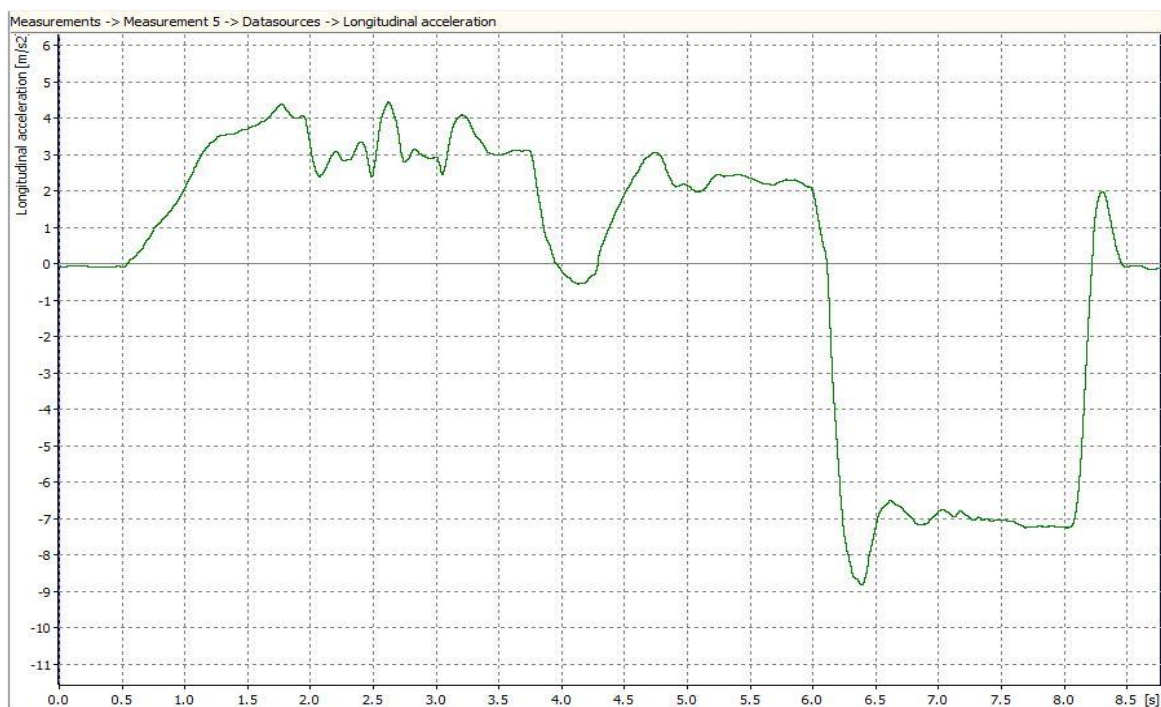
Na grafu 11 prikazano je kolebanje lateralne akceleracije/deakceleracije s obzirom na os y odnosno gledano u praksi okomito na smjer kretanja vozila. Iznos maksimalne lateralne akceleracije zabilježena je približno  $0,17 \text{ m/s}^2$ , a deakceleracije  $-0,8 \text{ m/s}^2$  u 6,2. sekundi mjerenja.



Grafikon 11. Prikaz kolebanja lateralne akceleracije/deakceleracije s obzirom na os y, okomito na smjer kretanja vozila

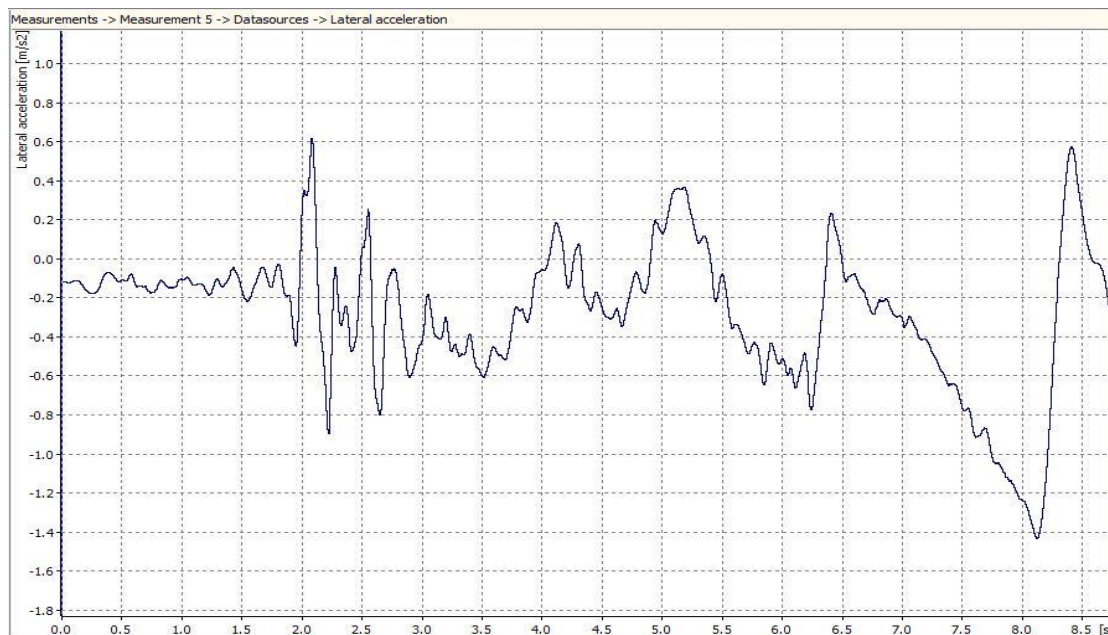
Sljedeća dva grafikona daju prikaz ubrzanja/usporenja prilikom drugog mjerenja na suhom asfaltu gdje je brzina vozila iznosila 50,32 km/h.

Na grafu 12 može se primijetiti amplituda longitudinalnog ubrzanja na osi x koja seže malo iznad 4 m/s<sup>2</sup> do najveće točke longitudinalnog usporenja za vrijeme kočenja od približno 9 m/s<sup>2</sup> što je primjetno veće u odnosu na prethodnu situaciju pri manjoj brzini.



Grafikon 12. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 50,32 km/h na suhom asfaltu

Na grafu 13 primjećuju se mnogo veće varijacije lateralne akceleracije/deakceleracije s obzirom na os y u odnosu na prethodni takav graf. Najveća amplituda akceleracije iznosi oko 0,6 m/s<sup>2</sup>, a deakceleracije malo ispod -1,4 m/s<sup>2</sup>, što je usporedno sa rezultatima lateralne akceleracije pri prethodnoj manjoj brzini mjerenja očigledna razlika.

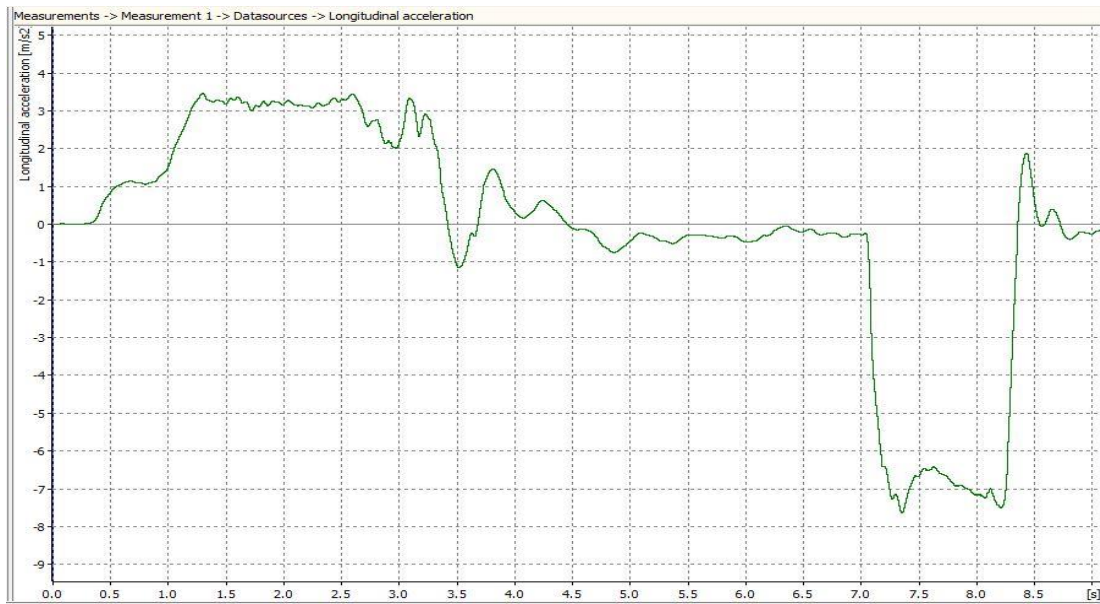


*Grafikon 13. Prikaz lateralnog (y) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 50,32 km/h na suhom asfaltu*

Prema istom principu izabrani su grafovi prilikom mjerenja na mokrom asfaltu. Tako da prva dva grafikona prikazuju akcelereaciju/deakcelereaciju pri kočenju sa brzine najbližoj 30 i 50 km/h.

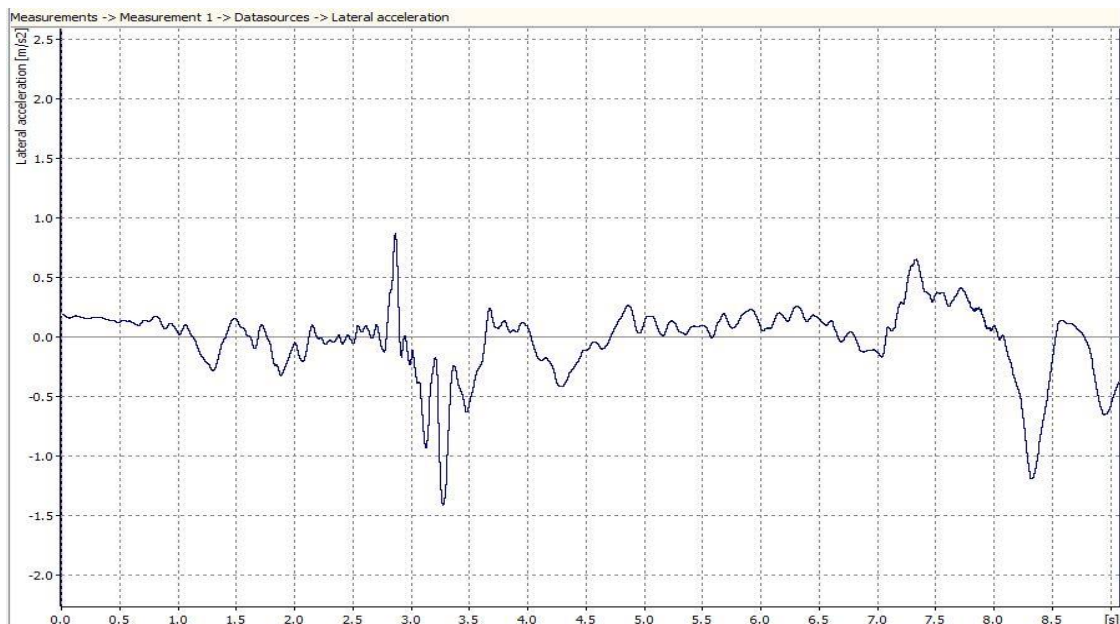
Na mokrom asfaltu rezultati longitudinalne akceleracije i deakceleracije za brzinu od oko 30 km/h su ipak malo drugačiji od rezultata na suhoj podlozi pri sličnoj brzini. Iznos maksimalne akceleracije koji se može očitati na donjem grafu 14 iznosi približno  $3,5 \text{ m/s}^2$  dok je na suhom iznosio približno  $4 \text{ m/s}^2$ , a deakceleracije  $-7,5 \text{ m/s}^2$  na mokrom asfaltu u usporedbi sa suhim koji je iznosio malo ispod  $-8 \text{ m/s}^2$ .





Grafikon 14. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 30,14 km/h na mokrom asfaltu

Što se tiče rezultata prikazanih na grafu lateralne akceleracije također je uočljiva razlika između suhe i mokre podloge. Na mokroj podlozi amplitude se kreću od maksimalne akceleracije od oko  $0,8 \text{ m/s}^2$  do maksimalne deakceleracije od približno  $-1,4 \text{ m/s}^2$  što je istaknuta razlika s obzirom na rezultate dobivene za suhu podlogu pri sličnoj brzini vožnje.



Grafikon 15. Prikaz lateralnog (y) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 30,14 km/h na mokrom asfaltu

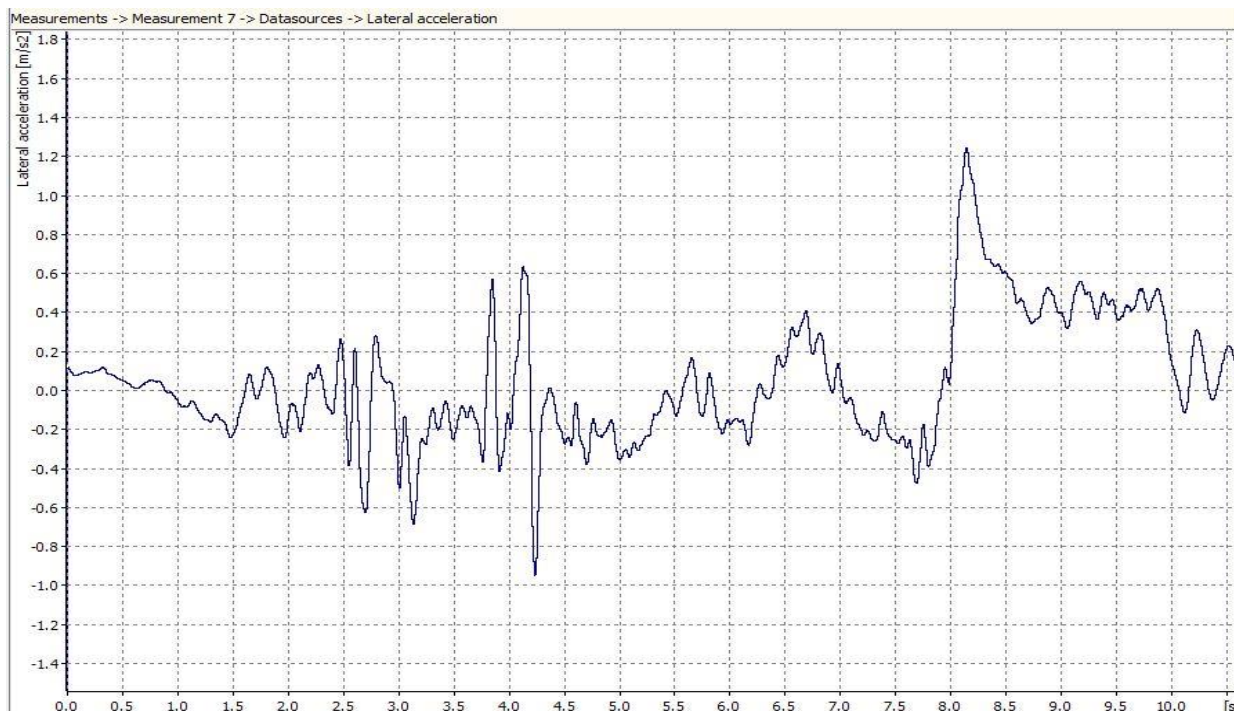
Sljedeća dva grafikona prikazuju rezultate mjerenja longitudinalne i lateralne akceleracije/deakceleracije pri brzini kretanja testnog vozila od 48,60 km/h.

Gledajući graf 196 moguće je primijetiti kako se u dosta širokom vremenskom intervalu akceleracija kretala blizu maksimuma. Približni maksimum longitudinalne akceleracije ispada oko  $3 \text{ m/s}^2$ , dok je minimum na grafu u jednom trenutku oko osme sekunde mjerenja zabilježen približno  $-7,6 \text{ m/s}^2$ . Usporedivši rezultate ovog grafikona s onim mjerenim na suhoj podlozi pri sličnim brzinama vidljivo je to da su veće amplitude zabilježene na grafikonu koji prikazuje longitudinalnu akceleraciju na suhoj podlozi.



Grafikon 16. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 48,60 km/h na mokrom asfaltu

Na grafu 17 zabilježena je slična amplituda između minimuma i maksimuma usporedno grafu 14, no veći je iznos lateralne akceleracije izmjeren u mokrim uvjetima dok je veći iznos lateralne deakceleracije izmjeren u suhim uvjetima mjerenja za istaknute brzine vožnje. Maksimum na grafu 18 u mokrim uvjetima podloge izmjeren je oko  $1,22 \text{ m/s}^2$ , dok je minimum zabilježen približno  $-0,9 \text{ m/s}^2$ .



*Grafikon 17. Prikaz lateralnog (y) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 48,60 km/h na mokrom asfaltu*

Na slici 37 prikazano je mjerenje XL-metrom po suhom asfaltu pri brzini približnoj 50 km/h. Slika je složena u tri faze koje je vozilo prošlo od početnog ubrzanja do konačnog zaustavljanja.



*Slika 37. Prikaz kočenja na suhoj podlozi pri brzini od oko 50 km/h*

Kod mjerenja na suhoj podlozi zanimljivo je bilo vidjeti i ponašanje vozila u slučaju kočenja pri brzini od 80 km/h. Za ovaj slučaj mjerenja bio je potreban znatno duži „zalet“ odnosno duljina ceste za postizanje ubrzanja kao što je prikazano na slici 38. Točna postignuta brzina vožnje iznosila je  $v_0=79,37$  km/h, put kočenja bio je 35,52 m, vozaču je bilo potrebno vrijeme za reakciju od  $T_{br}=3,16$  s, dok je izmjereno usporenje od  $6,38$  m/s<sup>2</sup>. Pri kraju kočenja nastao je bijeli dim od trenja pneumatika i podloge što se lijepo vidi na donjoj slici u trećoj fazi mjerenja.



*Slika 38. Prikaz kočenja na suhoj podlozi pri brzini od oko 80 km/h*

Na slici 39 jasno se da primijetiti trag kočenja od pneumatika testnog vozila koji je nastao od trenutka blokiranja kotača ostavljajući trag sve do potpunog zaustavljanja vozila.



*Slika 39. Trag kočenja od pneumatika*

## 6. UTJECAJ KOEFICIJENTA PRIJANJANJA S OBZIROM NA BRZINU KRETANJA VOZILA

U ovom poglavlju pozornost će se posvetiti na različita mjerenja zaustavnog puta kočenja pri različitim brzinama. Prikazat će se podaci mjerenja dobivenih na raznim podlogama upotrebom dva različita mjerna uređaja (ASFT T2GO uređaj i XL-metar), te u drugom poglavlju podaci dobiveni nakon mjerenja koristeći ABS sustav i bez prisutnosti ABS-a. Usporedbom različitih mjerenja dobit će se slika o performansama pneumatika pri određenim brzinama kretanja vozila u različitim okolnostima i uvjetima mjerenja.

### 6.1 Usporedba mjernih rezultata s obzirom na različite brzine vožnje na drugačijim podlogama

U tablici 6 dobiveni su rezultati mjerenja koeficijenta prijanjanja na različitim podlogama u okviru Znanstveno Sveučilišnog Kampusa Borongaj u Zagrebu. U ovu svrhu ispitivanja prikupili su se podaci dobiveni mjerenjem pomoću dva mjerna uređaja, a to su ASFT T2GO uređaj i XL metar.

ASFT T2GO uređajem dobili su se rezultati minimalnog, maksimalnog i prosječnog koeficijenta trenja za određenu podlogu. Usporedno s tim rezultatima zanimljivo je vidjeti rezultate dobivene XL-metrom za vrijeme kočenja pri brzinama približno 30 i 50 km/h na tim istim podlogama znajući koliki je njihov koeficijent trenja.

Tablica 6. Rezultati mjerenja ASFT T2GO uređajem i XL-metrom, izvor:[24]

	ASFT T2GO			XL metar							
	$\mu$ - Min	$\mu$ - Max	$\mu$ - Prosječni	30 km/h				50 km/h			
				a (m/s <sup>2</sup> )	t (s)	v (km/h)	s (m)	a (m/s <sup>2</sup> )	t (s)	v (km/h)	s (m)
<b>1</b>	0,82	0,91	0,87	7,54	1,27	32,23	5,59	6,68	1,97	68,74	12,99
<b>2</b>	0,75	0,84	0,8								
<b>3</b>	0,8	0,9	0,85	8,55	1,12	30,87	4,82	7,55	1,75	46,89	11,3
<b>4</b>	0,79	0,89	0,84								
<b>5</b>	0,61	0,74	0,67	6,97	1,3	30,85	5,69	6,56	2,06	49,29	18
<b>6</b>	0,64	0,81	0,7								
<b>7</b>	0,58	0,87	0,8	7,81	1,18	30,31	4,97	7,17	2,1	54,37	16,16
<b>8</b>	0,55	0,86	0,78								

Na slici 41 prikazane su podloge na kojima su se vršila ispitivanja koeficijenta prijanjanja. Tako je na najgornjoj sličici s lijeve strane prikazana podloga sa najvećim izmjerenim prosječnim koeficijentom trenja ( $\mu$  - prosječni=0,87), tu je pri brzini vožnje od 32,23 km/h i usporetnju od 7,54 m/s<sup>2</sup> izmjeren zaustavni put kočenja od 5,59 m, dok je pri

brzini od 68,74 km/h i usporenju 6,68 m/s<sup>2</sup> izmjeren zaustavni put od 12,99 m. No važno je naglasiti da je u tom mjerenju brzina dosta premašila ciljanih 50 km/h.

S druge strane može se usporediti podloga sa najmanjim izmjerenim koeficijentom trenja, a to je lijeva donja sličica na slici 40. Na njoj je izmjereno u prvom mjerenju najmanji iznos prosječnog koeficijenta prijanjanja ( $\mu$  - prosječni=0,67). Testno je vozilo razvilo brzinu od 30,85 km/h, usporenje prilikom kočenja iznosilo je 6,97 m/s<sup>2</sup>, dok se vozilo zaustavilo 5,69 m nakon početka kočenja. Na istoj podlozi testirano je vozilo podvrgnuto brzini vožnje od 49,29 km/h, deakceleracija je iznosila 6,56 m/s<sup>2</sup>, a zaustavni put kočenja iznosio je točno 18 m. Rezimirajući dobivene rezultate može se uočiti velika razlika prije svega u zaustavnom putu testnog vozila. Tako je zanimljivo vidjeti da je s obzirom na veći iznos prosječnog koeficijenta prijanjanja između pneumatika i podloge u prvom slučaju, iako je tada brzina vožnje bila čak 19,45 km/h veća nego u drugom slučaju (kod testiranja pri većoj brzini vožnje) ipak zaustavni put kočenja bio manji za 5,01 metar.



Slika 40. Prikaz različitih podloga na kojima su se vršila testiranja  
Izvor:[16]

Rezultati prikazani u tablici 7 predstavljaju rezultate dobivene mjerenjem XL-metrom na suhom istrošenom asfaltu pri brzinama od 30 km/h i 50 km/h.

Tablica 7. Rezultati mjerenja na suhom istrošenom asfaltu, izvor:[24]

	<b>30 km/h</b>	<b>50 km/h</b>
<b>Put kočenja [m]</b>	5,76	13,97
<b>Vrijeme kočenja [s]</b>	1,29	1,94
<b>Usporenje [m/s<sup>2</sup>]</b>	7,61	8,42

U svrhu ovog mjerenja korišteno je testno vozilo marke Volkswagen Golf s istrošenim ljetnim pneumaticima kao što je prikazano na slici 41.



*Slika 41. Testno vozilo na istrošenom asfaltu*

*Izvor:[24]*

Istim vozilom izvršeno je mjerenje na mokroj podlozi istrošenog asfalta također pri istim brzinama mjerenja kao i u gornjem slučaju. U tablici 8 prikazani su rezultati tog mjerenja. Usporedimo li zaustavni put na mokrom i suhom istrošenom asfaltu pri brzini od 30 km/h može se primjetiti da je u mokrim uvjetima bio kraći za 22 cm, dok je pri brzini od oko 50 km/h u mokrim uvjetima ispao duži za 2,7 m.

Tablica 8. Rezultati mjerenja na mokrom istrošenom asfaltu, izvor:[24]

	<b>30 km/h</b>	<b>50 km/h</b>
<b>Put kočenja [m]</b>	5,54	16,67
<b>Vrijeme kočenja [s]</b>	1,35	2,28
<b>Usporenje [m/s<sup>2</sup>]</b>	7,16	7,11

Na slici 42 prikazana je podloga po kojoj se vršilo ovo mjerenje. Za ovaj slučaj uzeto je isto vozilo kao i u gornjem slučaju.



*Slika 42. Testno vozilo na mokrom istrošenom asfaltu*

*Izvor:[24]*

U tablici 9 lako se može primijetiti koliko stanje asfalta utječe na koeficijent priranja između pneumatika i podloge. Najbolje u prilog takvom zaključku idu dobiveni rezultati zaustavnih puteva gdje su na novom asfaltu ispali znatno kraći u odnosu na stari istrošeni asfalt na suhoj podlozi.

Tablica 9. Rezultati mjerenja na suhoj podlozi novog asfalta, izvor:[24]

	<b>30 km/h</b>	<b>50 km/h</b>
<b>Put kočenja [m]</b>	4,93	13,06
<b>Vrijeme kočenja [s]</b>	1,12	1,85
<b>Usporenje [m/s<sup>2</sup>]</b>	9,5	8,74

Slika 43 prikazuje uvjete na cesti kod mjerenja na novoj asfaltnoj podlozi.



*Slika 43. Testno vozilo na suhom novom asfaltu  
Izvor:[24]*

Dobiveni rezultati mjerenja na mokroj podlozi na novom asfaltu mogu se usporediti primjerice s rezultatima dobivenih u istim vremenskim uvjetima na istrošenom asfaltu. Pri većoj brzini put kočenja je ispao kraći na novom asfaltu, dok je duži ispao pri manjoj brzini mjerenja.

Tablica 10. Rezultati mjerenja na mokroj podlozi novog asfalta, izvor:[24]

	<b>30 km/h</b>	<b>50 km/h</b>
<b>Put kočenja [m]</b>	6,24	15,41
<b>Vrijeme kočenja [s]</b>	1,4	2,33
<b>Usporenje [m/s<sup>2</sup>]</b>	7,06	6,74



Slikom 44 prikazani su uvjeti mjerenja na mokroj podlozi. U ovom slučaju vidljivo je to da je riječ o dosta dobrom novom asfaltu.



*Slika 44. Testno vozilo na mokrom novom asfaltu  
Izvor:[24]*

Pri identičnim brzinama mjerenja duljine puta kočenja na cesti posutoj šljunkom su znatno duže od asfaltne podloge. Najbolje se to vidi u tablici 11.

Tablica 11. Rezultati mjerenja na suhoj podlozi ceste posute šljunkom, izvor:[24]

	<b>30 km/h</b>	<b>50 km/h</b>
<b>Put kočenja [m]</b>	6,94	21,00
<b>Vrijeme kočenja [s]</b>	1,78	53,18
<b>Usporenje [m/s<sup>2</sup>]</b>	5,14	4,49

Automobil i šljunčana podloga na kojoj je izvršeno mjerenje po suhim uvjetima prikazano je na slici 45.



*Slika 45. Testno vozilo na suhoj podlozi ceste posute šljunkom  
Izvor:[24]*

Slijedeća tablica 12 prikazuje rezultate mjerenja na mokroj podlozi prekrivenoj slojem šljunka, gdje se vidi da je rezultat puta kočenja pri 30 km/h dulji nego za slučaj iste podloge u suhim uvjetima, dok minimalno kraći pri brzini od 50 km/h.

Tablica 12. Rezultati mjerenja na mokroj podlozi ceste posute šljunkom, izvor:[24]

	30 km/h	50 km/h
<b>Put kočenja [m]</b>	7,96	20,61
<b>Vrijeme kočenja [s]</b>	1,99	3,02
<b>Usporenje [m/s<sup>2</sup>]</b>	4,67	4,68

Prikazano je vozilo i cesta posuta šljunkom u mokrim uvjetima na slici 46.



Slika 46. Testno vozilo na mokroj podlozi ceste posute šljunkom  
Izvor:[24]

U tablici 13 prikazane su vrijednosti koeficijenta prijanjanja pneumatika izmjerene za sve vrste promatranih podloga stari i novi asfalt i nasuti šljunak s obzirom na razvijenu brzinu vožnje prilikom kočenja. Tako je izmjereno da je najmanji koeficijent prijanjanja između pneumatika i podloge zabilježen na suhoj cesti nasutom šljunkom pri brzini vožnje od 50 km/h, a najveći na novom asfaltu u suhim uvjetima testiranja također pri brzini od 50 km/h.

Tablica 13. Rezultati koeficijenta prijanjanja na svim promatranim podlogama, izvor:[24]

Vrsta podloge	Suha podloga		Mokra podloga	
	30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
<b>Stari asfalt</b>	0,77	0,85	0,72	0,72
<b>Novi asfalt</b>	0,96	0,89	0,71	0,68
<b>Nasuti šljunak</b>	0,52	0,45	0,47	0,47

## 6.2 Analiza rezultata mjerenja koeficijenta prijanjanja s obzirom na brzinu vožnje sa i bez ABS sustava u vozilu

Kao prvo da bismo mogli promatrati razliku u mjernim rezultatima moramo znati što je ABS sustav. ABS (*eng. Anti-lock Braking System*) je elektronički sustav ugrađen u gotovo sva novija vozila, uključujući i motocikle. Funkcija ABS sustava je u osnovi sprječavanje blokiranja kotača, što povećava stabilnost vozila te mu omogućava kraći zaustavni put (put kočenja) na vlažnim i skliskim kolnicima. Ipak na „mekanim” površinama kao što su pijesak ili kolnik prekriven snijegom, ABS značajno produžuje zaustavni put, ali time poboljšava upravljivost (kontrolu) nad vozilom. Time je ABS jedan od najvažnijih sigurnosnih sustava u automobilu, koji spašava stotine tisuća vozača svakodnevno. [25]

U nastavku će biti prikazano još jedno zanimljivo ispitivanje provedeno na Fakultetu prometnih znanosti u Zagrebu.

Ispitivanje je provedeno na osobnom automobilu marke Ford Escort iz 1996. godine. Vozilo je opremljeno ABS-om s hidrauličkim sustavom kočenja. Na prednjoj osovini vozila se nalaze disk kočnice dok na stražnjoj bubanj kočnice. Ispitivanje se provelo s različitim pneumaticima postavljenim na vozilo. Na sve kotače vozila postavljeni su radijalni pneumatici dimenzija 175 75 R13. Na prednji lijevi kotač je postavljen pneumatik Ceat Artic. Dubina profila prije provođenja mjerenja iznosila je 1 mm. Na prednji desni kotač postavljen je pneumatik Bridgeston dubine profila iznosila je 3 mm. Na zadnji lijevi pneumatik postavljen je pneumatika Kleber čija je dubina profila iznosila 2.5 mm. Na zadnji desni pneumatik postavljen je pneumatik Kristal čija je dubina profila iznosila 1.5 mm. Tlak u pneumaticima iznosio je 2.1 bar. Ispitivanje zaustavnog puta odnosno deceleracije vršilo se na suhoj asfaltnoj podlozi pri temperaturi zraka 24.5 °C, dok je temperatura podloge iznosila je 42.3 °C. [26]



Slika 47. Prikaz kočenja testnim vozilom s isključenim ABS-om  
Izvor:[26]

Provedena su četiri različita ispitivanja koristeći XL-metar, pri brzinama od 30 km/h i 50 km/h, s uključenim i isključenim ABS-om.

U tablici 14 prikazani su rezultati ispitivanja nakon osam uzastopnih mjerenja s uključenim ABS-om pri brzini od 30 km/h. Prosječni zaustavni put iznosio je 5,27 m, dok je prosječno izmjereno usporenje bilo 7,82 m/s<sup>2</sup>.

Tablica 14. Rezultati mjerenja pri brzini 30 km/h s uključenim ABS sustavom, izvor:[26]

	<b>30 km/h s ABS-om</b>			
<b>redni broj mjerenja</b>	<b>s<sub>0</sub>(m)</b>	<b>v<sub>0</sub>(km/h)</b>	<b>t(s)</b>	<b>a(m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>1.</b>	5,22	30,33	1,21	7,38
<b>2.</b>	5,67	32,62	1,21	8,34
<b>3.</b>	5,2	30,66	1,17	7,97
<b>4.</b>	4,91	29,93	1,16	7,4
<b>5.</b>	5,5	32,5	1,2	7,81
<b>6.</b>	4,8	30,7	1,13	8,15
<b>7.</b>	5,62	32,14	1,23	7,93
<b>8.</b>	5,23	30,37	1,18	7,59
<b>srednja vrijednost</b>	5,27	31,16	1,19	7,82

Tablicom 15 prikazani su rezultati sa sličnom brzinom vožnje kao u gornjem slučaju, no ovaj put mjerenje se provodilo bez upotrebe ABS sustava. Prosječni rezultati se uvelike razlikuju od gornjeg slučaja, primjerice duljina zaustavnog puta kočenja je za 95 cm duža od duljine zaustavnog puta gdje je ABS bio prisutan u vozilu, dok je srednja vrijednost usporenja bila manja.

Tablica 15. Rezultati mjerenja pri brzini 30 km/h s isključenim ABS sustavom, izvor:[26]

	<b>30 km/h bez ABS-a</b>			
<b>redni broj mjerenja</b>	<b>s<sub>0</sub>(m)</b>	<b>v<sub>0</sub>(km/h)</b>	<b>t(s)</b>	<b>a(m/s<sup>2</sup>)</b>
<b>1.</b>	7,42	33,28	1,48	7,54
<b>2.</b>	5,91	32,01	1,32	7,35
<b>3.</b>	6,08	33,03	1,34	7,16
<b>4.</b>	6,25	32,57	1,37	7,09
<b>5.</b>	6,04	32,02	1,35	7,1
<b>6.</b>	6,38	33,16	1,4	6,85
<b>7.</b>	5,43	30,52	1,29	7,01
<b>8.</b>	6,23	32,61	1,38	6,95
<b>srednja vrijednost</b>	6,22	32,4	1,37	7,13

U sljedećih osam različitih mjerenja prikazanih u tablici 16 provedeno je ispitivanje pri brzini približnoj 50 km/h s uključenim ABS-om. Mogu se izdvojiti srednja vrijednost zaustavnog puta koja je iznosila oko 13 m, te srednja vrijednost deakceleracije od 8,1 m/s<sup>2</sup>.

Tablica 16. Rezultati mjerenja pri brzini 50 km/h s uključenim ABS sustavom, izvor:[26]

redni broj mjerenja	50 km/h s ABS-om			
	s <sub>0</sub> (m)	v <sub>0</sub> (km/h)	t(s)	a(m/s <sup>2</sup> )
1.	12,86	50,94	1,88	7,65
2.	12,47	50,51	1,76	8,45
3.	12,8	50,71	1,78	8,29
4.	13,54	52,2	1,86	8,11
5.	13,14	51,41	1,83	8,16
6.	13,17	51,38	1,8	8,11
7.	13,13	51,34	1,82	8,14
8.	12,87	50,3	1,81	7,92
<b>srednja vrijednost</b>	13,00	51,1	1,82	8,1

Podaci nakon mjerenja s isključenim ABS-om koristeći približno iste brzine vožnje prikazani su u tablici 17. Usporedimo li ove podatke srednjih vrijednosti s istim podacima iz gornje tablice primijetit ćemo razliku od približno 2,31 m u zaustavnom putu kočenja i 1,73 m/s<sup>2</sup> u srednjim vrijednostima usporenja odnosno deakceleracije.

Tablica 17. Rezultati mjerenja pri brzini 50 km/h s isključenim ABS sustavom, izvor:[26]

redni broj mjerenja	50 km/h bez ABS-a			
	s <sub>0</sub> (m)	v <sub>0</sub> (km/h)	t(s)	a(m/s <sup>2</sup> )
1.	15,07	50,47	2,15	6,42
2.	14,82	49,45	2,15	6,35
3.	15,88	51,03	2,21	6,42
4.	14,91	49,46	2,15	6,38
5.	15,29	50,74	2,16	6,38
6.	15,7	50,43	2,22	6,33
7.	15,25	50,11	2,2	6,34
8.	15,52	50,74	2,21	6,35
<b>srednja vrijednost</b>	15,31	50,3	2,18	6,37

## 7. ZAKLJUČAK

Pneumatici imaju neizmjerljivo važnu ulogu u sigurnosti cestovnog prometa te velik utjecaj na samu stabilnost vozila. To je dokazano iz prikazanih rezultata mjerenja kroz ovaj rad.

Vidljivo je da su ljudi od samih početaka razvoja pneumatika težili udobnijoj, sigurnijoj i ekonomičnoj vožnji. Prvi kotači bez pneumatika bili su drveni i metalni kotači koji su bili pretvrđi i vožnja na njima je bila nesigurna i nestabilna. Do dan danas ljudi su razvijali pneumatike i dodavali im sve bolje materijale i smjese, te time poboljšali performanse vožnje i sigurnost u najekstremnijim uvjetima vožnje. Zato danas primjerice postoje pneumatici s obzirom na mješavinu, raspored i dubinu kanala protektorskog sloja koji su specijalizirani za kretanje po različitim vrstama podloga (snijeg, blato, pijesak, mokar kolnik...), pa i one pomoću kojih je moguće razvijati velike brzine i ostvariti brza vremena vožnje kao što su specijalni trkači pneumatici. Zasigurno je najveći zaokret u razvoju pneumatika bilo otkriće procesa vulkanizacije.

Kao što je većini ljudi poznato najznačajnija podjela s obzirom na upotrebu je na zimske i ljetne pneumatike, uz to su spomenuti još i cjelogodišnji, ali oni nisu u tolikoj mjeri ušli u upotrebu najvjerojatnije zbog svojih ispod prosječnih i prosječnih performansi tokom cijele godine.

Promatrajući statističke podatke u Republici Hrvatskoj na našim cestama zabilježen je velik broj prometnih nesreća gdje je bitan faktor bio i stanje pneumatika. Zato je važno kod odabira pneumatika obratiti pozornost na zamjenu pneumatika za ljetne i zimske uvjete, ne postavljati različite pneumatike na prednjoj i stražnjoj osovini, te prije svega paziti da se istrošeni pneumatici u pravo vrijeme zamjene novima.

Kroz ovaj rad dokazano je provedenim ispitivanjima koliko različite vrste podloga imaju utjecaj na duljinu puta kočenja s određenom vrstom pneumatika. Vidljivo je i to kako se rezultati mijenjaju s obzirom na postignutu brzinu vožnje u trenutku kočenja. Također izmjerena su i vremena potrebna za početak kočenja, odnosno reakcije vozača koje također ima veliku ulogu u sigurnosti prometa. Jedno od zanimljivijih rezultata ispitivanja pokazalo se mjerenje zaustavnog puta i koeficijenta priranja na testnom vozilu s upotrebom ABS-sustava i bez prisutnosti ABS-a, gdje se zapravo najbolje vidi koliko su nova vozila odmakla u razvoju na području sigurnosti vožnje.

Za kraj rezimirajući sve dobivene i prikupljene rezultate važno je ustvrditi da je u današnje vrijeme napravljen ogroman iskorak u razvoju ne samo pneumatika koji su bez preuveličavanja temeljni elementi sigurnosti nego i svih ostalih komponenti koji utječu na sigurnost i stabilnost vožnje. S druge strane može se reći da u tom pogledu ima još puno prostora za napredak jer se i dan danas na cesti dešava veliki broj prometnih nesreća gdje uzrok nije samo ljudska pogreška nego i stanje određenih komponenta na vozilu.

## 8. Popis literature

- [1] URL: <https://www.blackcircles.com/general/history>, (preuzeto: 17.12.2017).
- [2] URL: <https://www.prometna-zona.com/vrste-guma-i-njihova-konstrukcija>, (preuzeto: 20.12.2017)
- [3] Hrvatski Autoklub: *Gume za motorna vozila – Osnove i propisi*, listopad 2003.
- [4] URL: <https://www.prometna-zona.com/gume> (preuzeto: 20.12.2017)
- [5] URL: <https://www.auto-iv.com/pneumatici.html> (preuzeto 30.01.2018)
- [6] URL: <http://prodajaguma.com/oznake-auto-guma> (preuzeto: 28.12.2017)
- [7] URL: [http://ec.europa.eu/energy/efficiency/tyres/labelling\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/tyres/labelling_en.htm), (preuzeto:28.12.2017)
- [8] Lulić, Z., Šagi, G., Ormuž, K.: *Teorija kretanja vozila*, Fakultet prometnih znanosti, akademska godina 2014/2015.
- [9] URL: <http://www.etrma.org/tyres/tyre-labelling/> / preuzeto: 4.1.2018.
- [10] URL: <http://hr.scribd.com/doc/23826877/Kau%20C4%8Duk> (preuzeto: 28.12.2017)
- [11] URL: [http://www.goodyear.eu/si\\_hr/tire-advice/eu-tire-label](http://www.goodyear.eu/si_hr/tire-advice/eu-tire-label) (preuzeto:10.2.2018)
- [12] URL: <http://www.mark-10.com/instruments/force/M5-2-COF.html> (preuzeto: 10.2.2018)
- [13] URL: <https://www.gte.de/product/gleitreibungsmessgerate/gmg300/?lang=en/> (preuzeto:10.2.2018)
- [14] URL: <http://griptester.us>, (preuzeto: 10.2.2018)
- [15] URL: <http://www.viatech.no/products.aspx?lang=en&id=1>, (preuzeto: 10.2.2018)
- [16] Zovak, G.: *Ispitivanje koeficijenta prijanjanja*, Fakultet prometnih znanosti, akademska godina 2014/2015.
- [17] URL: <http://slideplayer.com/slide/4084122>, (preuzeto: 10.2.2018)
- [18] URL: <https://www.innomikko.fi/eng/news/optical.html> (preuzeto: 10.2.2018)

- [19] URL: <http://blog.olx.ba/2014/08/19/razlika-izmedu-ljetnih-zimskih-cjelogodisnjih-guma>  
(preuzeto: 7.2.2018)
- [20] URL: <https://www.cvh.hr/sluzbene-obavijesti/2000/i7-broj-1790-12000> (preuzeto:  
7.2.2018)
- [21] URL: <http://uljadirekt.com/oznake-na-gumama> (preuzeto: 7.2.2018)
- [22]URL:[https://www.fsb.unizg.hr/acg/hrvatski/yaw\\_rate\\_estim\\_istras.html](https://www.fsb.unizg.hr/acg/hrvatski/yaw_rate_estim_istras.html)(preuzeto:  
13.02.2018)
- [23] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Road\\_slipperiness](https://en.wikipedia.org/wiki/Road_slipperiness), (preuzeto: 13.02.2018)
- [24] Šarić, Ž.: *Analiza koeficijenta prianjanja kod cestovnih vozila*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
- [25]URL:<http://www.petabrzina.com/abs-sustav-protiv-blokiranja-kotaca>,  
(preuzeto:21.02.2018)
- [26] Pavlik, I.: *Utjecaj pneumatika na stabilnost cestovnih vozila*, Završni rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.



## 9. Popis kratica

ETRTO (European Tyre and Rim Technical Organisation) - Europska tehnička organizacija za gume

EU(eng. European union) - Europska unija

RRC (eng. Rolling Resistance Coefficient) - koeficijent otpora kotrljanja

Daihatsu UFE (eng. Ultra Fuel Economy) - model automobila sa ultra ekonomičnom štednjom goriva

COF (eng. Coefficient of Friction Fixture)-koeficijent trenja prijanjanja

LCD ( Liquid crystal display ) - monitori sa zaslonom na bazi tekućih kristala

GGVU (ger. Güte-Gemeinschaft Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung)- njemačka udruga za osiguranje kvalitete za čišćenje prometnih površina i rehabilitaciju nesreća).

ADAC (ger. Allgemeine Deutsche Automobil Club)- najveći je njemački i europski autoklub, jedan od najvećih i, zasigurno, najbolje organiziran autoklub na svijetu

ABS (eng. Anti-lock Braking System)- sustav protiv blokiranja kotača

## 10. Popis slika

Slika 1. Prikaz dijagonalnog i radijalnog pneumatika.....	8
Slika 2. Oznaka određeni tip zimskog pneumatika .....	9
Slika 3. Maksimalni pritisak pneumatika .....	9
Slika 4. Radijalna i konstrukcija za pneumatik bez zračnice .....	9
Slika 5. Dodatni opis građe pneumatika.....	10
Slika 6. Prikaz osnovnih podataka o automobilskom pneumatiku .....	10
Slika 7. Oznaka za svojstva potrošnje, prijanjanja i otpornosti pri većoj temperaturi .....	11
Slika 8. Prikaz EU oznake pneumatika .....	11
Slika 9. Prikaz otpora s obzirom na kosinu .....	12
Slika 10. Presjek pneumatika uslijed deformacije.....	13
Slika 11. Daihatsu UFE (Ultra Fuel Economy) model iz 2005 .....	14
Slika 12. Podjela guma na razrede prema potrošnji goriva .....	15
Slika 13. Prikaz zaustavnog puta kočenja vozila.....	17
Slika 14. Prikaz intenziteta kočenja na mokroj podlozi .....	17
Slika. 15. Razred vanjske buke kotrljanja .....	18
Slika 16. XL-metar .....	21
Slika 17. Digitalni mjerač sile serije Mark-10.....	22
Slika 18. G1086 COF uređaj .....	22
Slika 19. GMG uređaj .....	24
Slika 20. Grip Tester .....	24
Slika 21. ViaFriction uređaj za zimske uvjete mjerenja.....	26
Slika 22. Prikaz hlađenja pneumatika na uređaju.....	26
Slika 23. ViaFriction uređaj za ljetne uvjete mjerenja .....	27
Slika 24. ViaFriction softver .....	27
Slika 25. ASFT T2GO mjerni uređaj .....	28
Slika 26. DSP310 terenski optički uređaj (gore) i optički terenski uređaj RCM411 (dolje).....	29
Slika 27. Glisiranje (Aquaplaning).....	33
Slika 28. Prikaz kako trošenje pneumatika ovisi o tlaku zraka njima .....	34
Slika 29. Ljetni i zimski pneumatici.....	37
Slika 30. Ovisnost „držanja ceste“ o temperaturi .....	38
Slika 31. Prikaz djelovanja tangencijalne sile na mekoj podlozi .....	40
Slika 32. Prikaz novog profila gaznog sloja u odnosu na istrošeni .....	41
Slika 33. Razvoj kontaktne površine guma kroz povijest .....	41

Slika 34. Testno vozilo Škoda Felicija GLXI .....	42
Slika 35. Prikaz cjelogodišnji „Sava“ pneumatika testnog vozila.....	43
Slika 36. Prikaz mokre podloge za vrijeme testiranja .....	45
Slika 37. Prikaz kočenja na suhoj podlozi pri brzini od oko 50 km/h.....	51
Slika 38. Prikaz kočenja na suhoj podlozi pri brzini od oko 80 km/h.....	52
Slika 39. Trag kočenja od pneumatika .....	52
Slika 40. Prikaz različitih podloga na kojima su se vršila testiranja .....	54
Slika 41. Testno vozilo na istrošenom asfaltu .....	55
Slika 42. Testno vozilo na mokrom istrošenom asfaltu.....	55
Slika 43. Testno vozilo na suhom novom asfaltu.....	56
Slika 44. Testno vozilo na mokrom novom asfaltu.....	57
Slika 45. Testno vozilo na suhoj podlozi ceste posute šljunkom .....	57
Slika 46. Testno vozilo na mokroj podlozi ceste posute šljunkom .....	58
Slika 47. Prikaz kočenja testnim vozilom s isključenim ABS-om.....	59

## 11. Popis tablica

Tablica 1. Osnovni kriteriji za dodjelu razreda otpora kotrljanja.....	14
Tablica 2. Osnovni kriteriji za dodjelu razreda s obzirom koeficijent prianjanja na mokroj podlozi ...	16
Tablica 3. Prikaz koeficijenta trenja prianjanja u ovisnosti o brzini vožnje.....	30
Tablica 4. Prikaz koeficijenta trenja prianjanja za pneumatike te pneumatike i lance na neasfaltiranim putovima (travnata površina, ilovača, glina, zemljani put, makadam, šljunak, pijesak) .....	31
Tablica 5. Prikaz rezultata mjerenja prilikom kočenja testnog vozila.....	44
Tablica 6. Rezultati mjerenja ASFT T2GO uređajem i XL-metrom.....	53
Tablica 7. Rezultati mjerenja na suhom istrošenom asfaltu .....	54
Tablica 8. Rezultati mjerenja na mokrom istrošenom asfaltu .....	55
Tablica 9. Rezultati mjerenja na suhoj podlozi novog asfalta .....	56
Tablica 10. Rezultati mjerenja na mokroj podlozi novog asfalta .....	56
Tablica 11. Rezultati mjerenja na suhoj podlozi ceste posute šljunkom .....	57
Tablica 12. Rezultati mjerenja na mokroj podlozi ceste posute šljunkom] .....	58
Tablica 13. Rezultati koeficijenta prianjanja na svim promatranim podlogama .....	58
Tablica 14. Rezultati mjerenja pri brzini 30 km/h s uključenim ABS sustavom .....	60
Tablica 15. Rezultati mjerenja pri brzini 30 km/h s isključenim ABS sustavom] .....	60
Tablica 16. Rezultati mjerenja pri brzini 50 km/h s uključenim ABS sustavom .....	61
Tablica 17. Rezultati mjerenja pri brzini 50 km/h s isključenim ABS sustavom.....	61

## 12. Popis grafikona

Grafikon 1 i 2 prikazuje gubitak snage u ovisnosti o brzini vožnje i odstupanje tlaka u pneumaticima u ovisnosti o troškovima goriva.....	13
Grafikon 3. Razlika u koeficijentu trenja prijanjanja na suhom i mokrom kolniku .....	31
Grafikon 4. Prikaz koeficijenta trenja prijanjanja za ljetni pneumatik kod brzine 60 km/h .....	32
Grafikon 5. Koeficijent trenja prijanjanja ovisno o klizanju pri kočenju za suhi i mokri asfalt pri različitim brzinama vožnje, .....	33
Grafikon 6. Utjecaj brzine vožnje i temperature leda na koeficijent trenja prijanjanja (za zimske pneumatike) .....	35
Grafikon 7. Kočenje na mokroj podlozi .....	38
Grafikon 8. Usporedba zaustavnog puta kod ljetnih guma .....	39
Grafikon 9. Zavisnost zaustavnog puta o dubini kanala gazećeg sloja pneumatika.....	39
Grafikon 10. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 31,12 km/h na suhom asfaltu.....	46
Grafikon 11. Prikaz kolebanja lateralne akceleracije/deakceleracije s obzirom na os y , .....	46
okomito na smjer kretanja vozila .....	46
Grafikon 12. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 50,32 km/h na suhom asfaltu.....	47
Grafikon 13. Prikaz lateralnog (y) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 50,32 km/h na suhom asfaltu .....	48
Grafikon 14. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 30,14 km/h na mokrom asfaltu.....	49
Grafikon 15. Prikaz lateralnog (y) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 30,14 km/h na mokrom asfaltu .....	49
Grafikon 16. Prikaz longitudinalnog (x) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 48,60 km/h na mokrom asfaltu.....	50
Grafikon 17. Prikaz lateralnog (y) ubrzanja/usporenja s obzirom na vrijeme vožnje (t) pri brzini od 48,60 km/h na mokrom asfaltu .....	51



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih  
znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada

pod naslovom **Utjecaj koeficijenta pianjanja pneumatika na stabilnost cestovnih vozila**

---

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 26.2.2018 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(potpis)

