

ODREĐIVANJE UTJECAJA TLAKA U GUMAMA AUTOMOBILA NA DINAMIKU VOŽNJE

Grubić, Denis

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:173948>

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

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



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DENIS GRUBIĆ

**ODREĐIVANJE UTJECAJA TLAKA U
GUMAMA AUTOMOBILA NA DINAMIKU
VOŽNJE**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2024

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

DENIS GRUBIĆ

**ODREĐIVANJE UTJECAJA TLAKA U
GUMAMA AUTOMOBILA NA DINAMIKU
VOŽNJE**

ZAVRŠNI RAD

dr.sc. Josip Hoster

KARLOVAC, 2024



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Klasa:
602-07/___-01/___

ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

Datum:

* Ime i prezime	Denis Grubić		
OIB / JMBG			
Adresa			
Tel. / Mob./e-mail			
Matični broj studenta	0110619005		
JMBAG	0248074677		
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/> prijediplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski	
Naziv studija	Stručni studij strojarstva		
Godina upisa			
Datum podnošenja molbe	3.10.2023.		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

* Naslov teme na hrvatskom: **Određivanje utjecaja tlaka u gumama automobila na dinamiku vožnje**

* Naslov teme na engleskom: **Determination of car tyre pressure on driving dynamics**

Opis zadatka:

U završnom radu opisati utjecajne faktore na dinamiku i potrošnju goriva osobnih automobila. Odrediti utjecaj tlaka u gumama na dinamiku vozila pri naletu na odabranu neravninu na cesti. Odrediti mjerenjem utjecaj tlaka u gumama na potrošnju goriva u istim uvjetima vožnje. Izmjeriti dinamiku vozila na odabranom mjestu pri vožnji preko istih neravnina s različitim tlakom u gumama.. Prikazati deformiranje gume za određeni tlak preko pravilne prepreke – nadvišenja kao funkciju brzine prelaska. Deformiranje prikazati kao pomak središta kotača..

Zadatak izraditi i uvezati u skladu s Pravilnikom o završnim radovima Veleučilišta u Karlovcu.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu. Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Josipu Hosteru na pomoći tijekom pisanja završnog rada.

Denis Grubić

Karlovac, 29.3.2024.

Naslov: Određivanje utjecaja tlaka u gumama automobila na dinamiku vožnje

SAŽETAK

Završni rad se sastoji od teorijskog i praktičnog dijela. U teorijskom dijelu opisane su vibracije vozila, vrste ovjesa i njihov utjecaj na dinamiku vozila. Zatim su detaljnije opisani kotači vozila, posebice gume koje su jedine dodirne točke vozila s podlogom i kao takve imaju veliku važnost. Nadalje, opisano je samo vozilo korišteno za mjerenja u praktičnom dijelu rada.

U praktičnom dijelu izmjeren je utjecaj tlaka pri naletu na neravninu uz pomoć preciznog mjerenja u kontroliranim uvjetima. Uz samu udobnost vožnje, izmjeren je i utjecaj tlaka u gumama na potrošnju goriva, što za sobom vodi i utjecaj na klimatske promjene.

Ključne riječi: tlak, gume, potrošnja goriva, neravnina

Title: Determination of car tyre pressure on driving dynamics

SUMMARY

The final thesis consists of a theoretical and a practical part. In the theoretical part, vehicle vibrations, suspension types and their influence on vehicle dynamics are described. Then the wheels of the vehicle are described in more detail, especially the tires, which are the only points of contact of the vehicle with the ground and as such are of great importance. Furthermore, the exact vehicle used for measurements in the practical part of the work is described.

In the practical part, the influence of pressure when hitting a bump was measured with the help of precise measurement under controlled conditions. In addition to driving comfort, the impact of tire pressure on fuel consumption was also measured, which also leads to an impact on climate change.

Key words: pressure, tires, fuel consumption, bump

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OVJES AUTOMOBILA I NJEGOV UTJECAJ NA DINAMIKU	3
2.1. Vibracije vozila	4
3. KOTAČI AUTOMOBILA.....	6
3.1. Naplatci (felge)	6
3.2. Pneumatici (gume)	8
3.2.1. Nadzor tlaka pneumatika	13
3.2.2. Parametri kotrljanja, prianjanja i buke kotača	14
3.2.3. Klase efikasnosti pneumatika.....	15
3.2.4. Deformacija pneumatika ovisno o tlaku.....	18
4. EKSPERIMENTALNI DIO	21
4.1. Opis vozila i guma korištenih u mjerenju	21
4.2. Mjerenje utjecaja tlaka pri naletu na neravninu.....	23
4.2.1. Uvjeti mjerenja ubrzanja.....	23
4.2.2. Mjerenje vertikalnih ubrzanja pri zadanom tlaku.....	29
4.2.3. Mjerenje vertikalnih ubrzanja pri tlaku višem od zadanog.....	33
4.2.4. Mjerenje vertikalnih ubrzanja pri tlaku nižem od zadanog	35
4.2.5. Usporedba mjerenja.....	37
4.3. Mjerenje utjecaja tlaka na potrošnju goriva	38
4.3.1. Uvjeti mjerenja potrošnje goriva	38
4.3.2. Potrošnja pri zadanom tlaku.....	39
4.3.3. Potrošnja pri tlaku višem od zadanog.....	41
4.3.4. Potrošnja pri tlaku nižem od zadanog	42
4.4. Analiza rezultata.....	44
4.4.1. Rezultati mjerenja vertikalnih ubrzanja	44
4.4.2. Rezultati mjerenja potrošnje goriva	47
4.4.3. Prednosti i nedostaci pojedinih tlakova	48
5. ZAKLJUČAK	49
LITERATURA.....	50

POPIS SLIKA

Slika 1. Provjera tlaka u gumama [2]	1
Slika 2. Prikaz vibracija vozila u koordinatnom sustavu [1]	4
Slika 3. Trodimenzionalni vibracijski model vozila s nezavisnim ovjesom [1]	5
Slika 4. Presjek čeličnog (a) i aluminijskog (b) naplatka [1]	7
Slika 5. Vrste pneumatika po namjeni [1].....	9
Slika 6. Tipovi profila gazne površine: simetrični, asimetrični, V-oblik [1].....	10
Slika 7. Primjer oznaka na gumama	12
Slika 8. Ventil i kapica	13
Slika 9. Primjer naljepnice s klasom efikasnosti pneumatika [4]	15
Slika 10. Utjecaj tlaka na gazni sloj i deformaciju gume [5].....	18
Slika 11. Bočnica gume pri tlaku od 2,3 bara.....	19
Slika 12. Bočnica gume pri tlaku od 1,9 bara.....	19
Slika 13. Bočnica gume pri tlaku od 2,7 bara.....	20
Slika 14. Automobil korišten u mjeranjima	21
Slika 15. Preporučeni tlakovi u gumama.....	22
Slika 16. Prikaz uvjeta mjerenja	23
Slika 17. Prikaz položaja mobitela tijekom mjerenja	24
Slika 18. Detaljan prikaz položaja mobitela	24
Slika 19. Sučelje aplikacije Physics Toolbox Sensor Suite	25
Slika 20. Pohrana rezultata mjerenja.....	26
Slika 21. Izgled izvornih rezultata mjerenja.....	26
Slika 22. Manometarski prikaz zadanog tlaka.....	29
Slika 23. Dijagram ubrzanja pri zadanom tlaku.....	30
Slika 24. Dijagram ubrzanja nastalih pri prijelazu prednjim kotačima	31
Slika 25. Položaji prednjeg kotača tijekom prijelaza preko neravnine	31
Slika 26. Dijagram ubrzanja nastalih pri prijelazu stražnjim kotačima	32
Slika 27. Položaji stražnjeg kotača tijekom prijelaza preko neravnine.....	32
Slika 28. Manometarski prikaz tlaka višeg od zadanog.....	33
Slika 29. Dijagram ubrzanja nastalih pri tlaku višem od zadanog	34
Slika 30. Manometarski prikaz tlaka manjeg od zadanog	35
Slika 31. Dijagram ubrzanja nastalih pri tlaku nižem od zadanog	36
Slika 32. Dijagram prosjeka svih izmjerenih ubrzanja	37
Slika 33. Prikaz puta na kojem je mjerena potrošnja goriva.....	38
Slika 34. Podaci putnog računala o potrošnji pri zadanom tlaku	39
Slika 35. Račun za gorivo potrošeno vožnjom pri zadanom tlaku	40
Slika 36. Podaci putnog računala o potrošnji goriva pri tlaku višem od zadanog	41
Slika 37. Račun za gorivo potrošeno pri tlaku višem od zadanog	41
Slika 38. Podaci putnog računala o potrošnji goriva pri tlaku višem od zadanog	42
Slika 39. Račun za gorivo potrošeno pri tlaku nižem od zadanog.....	43
Slika 40. Dijagram prosjeka mjerenja ubrzanja pri zadanom tlaku.....	44

Slika 41. Dijagram prosjeka mjerenja pri tlaku višem od zadanog	45
Slika 42. Dijagram prosjeka mjerenja pri tlaku nižem od zadanog	45

POPIS TABLICA

Tablica 1. Indeksi nosivosti [1].....	10
Tablica 2. Indeksi brzine [1].....	10
Tablica 3. Prikaz maksimalnih rezultata mjerenja ubrzanja	46
Tablica 4. Prikaz minimalnih rezultata mjerenja ubrzanja	46
Tablica 5. Rezultati mjerenja potrošnje goriva pri različitim tlakovima.....	47

POPIS OZNAKA		
Oznaka	Objašnjenje	Mjerna jedinica
p	tlak	Pa
f	frekvencija	Hz
m	masa	Kg
v	brzina	m/s
n	rotacijska brzina	o/min
l	duljina	M
f_k	koeficijent otpora kotrljanja	-
μ	koeficijent prljanjanja	-
L	jačina zvuka	dB
Cd	koeficijent otpora zraka	-
V	obujam	m ³
M	okretni moment	Nm
a	ubrzanje	m/s ²
t	vrijeme	s
T	temperatura	K

1. UVOD

Suvremeno društvo ne može zamisliti svoj svakodnevni život bez automobila. Automobili su postali ključni dio naših života, omogućujući nam mobilnost, udobnost i brzinu u svakodnevnim aktivnostima. No, dok mnogi vozači provode znatno vrijeme birajući pravu marku i model automobila, često se zanemaruje čimbenik koji ima presudan utjecaj na performanse i sigurnost vožnje - tlak u gumama.

Tlak u gumama automobila igra ključnu ulogu u njihovoj dinamici vožnje. Ovaj zanemareni aspekt održavanja automobila može značajno utjecati na performanse vozila, trošenje goriva i sigurnost na cestama. Iako se mnogo istraživanja posvećuje različitim aspektima automobilske tehnologije, utjecaj tlaka u gumama ostaje relativno nedovoljno istražen i razumljiv.

Cilj ovog završnog rada je istražiti kako varijacije tlaka u gumama utječu na dinamiku vožnje automobila, istražujući kako promjene tlaka u gumama mogu utjecati na udobnost i potrošnju vozila. Kroz detaljnu analizu, eksperimente i teorijske pristupe, ovaj rad će pokušati osvijetliti značaj ovog često zanemarenog čimbenika u kontekstu automobilske industrije.



Slika 1. Provjera tlaka u gumama [2]

Određivanje utjecaja tlaka u gumama na dinamiku vožnje može pridonijeti boljem razumijevanju i upravljanju performansama automobila te potaknuti vozače na svjesnije održavanje svojih vozila. Osim toga, takvo istraživanje može doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova kroz povećanje učinkovitosti goriva, što je važan aspekt u današnjem globalnom okolišnom kontekstu.

U nastavku ovog rada, istražene su teoretske osnove dinamike vožnje, vrsta ovjesa i kotača te eksperimentalni pristupi kako bi se bolje razumio utjecaj tlaka u gumama na performanse automobila. Kroz to razumijevanje, cilj je potaknuti vozače na svjesnije odluke o održavanju svojih vozila i doprinijeti sigurnijoj i učinkovitijoj vožnji.

2. OVJES AUTOMOBILA I NJEGOV UTJECAJ NA DINAMIKU

Ovjes motornog vozila povezuje kotače i karoseriju vozila, odnosno neovještene i ovještene mase vozila. Sastoji se od elastičnih, prigušnih i vodećih elemenata i omogućuje vožnju velikim brzinama po različitim putevima. Svojstva ovjesa određuju značajne karakteristike motornog vozila: putnu udobnost, putnu sigurnost i operativnu sigurnost vozila.

Putna udobnost označava udobnu vožnju i otklonjen štetan utjecaj vibracija na putnike. Putna sigurnost slovi za držanje kotača na cesti; prijenos sila i stabilnost vozila. Operativna sigurnost vozila osigurava da su komponente vozila zaštićene od prevelikih opterećenja.

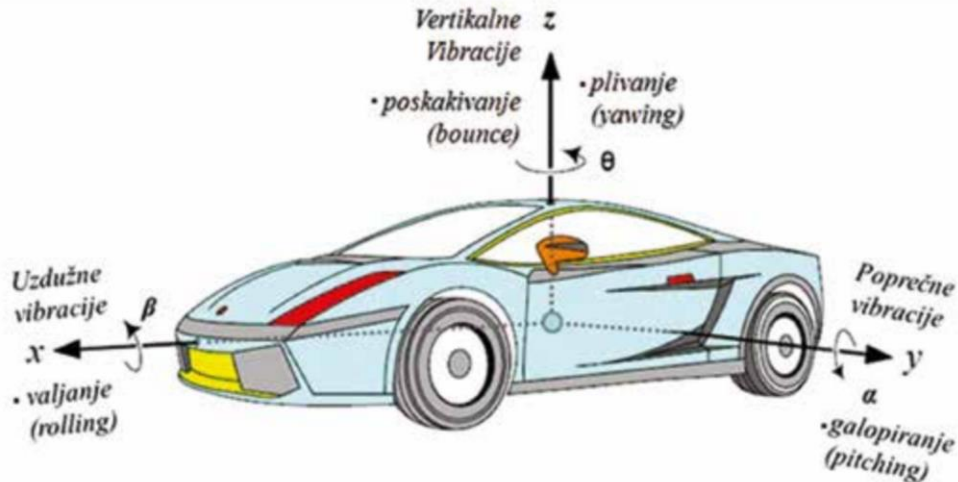
Postoje različite izvedbe ovjesa na motornim vozilima koji se prema načinu upravljanja mogu podijeliti na pet klasa: pasivni, adaptivni, poluaktivni, niskoaktivni i aktivni sustavi ovjesa. Pasivni ovjesi standardni su klasični ovjesi, na kojima je prethodno razmatrana teorija ovjesa. Svi sustavi ovjesa, osim pasivnog ovjesa, mehatronički su sustavi, kojima upravlja upravljačka jedinica, pa se nazivaju aktivni sustavi ovjesa.

Pasivni, poluaktivni i aktivni ovjesi obuhvaćaju sve frekvencijske raspone karoserije i kotača, što uključuje područje od 0 do 40 Hz. U nižim frekvencijskim područjima karoserije ističu se adaptivni ovjesi i niskoaktivni ovjesi, koji pokrivaju raspon od 0 do 1 Hz i 0 do 5 Hz. Adaptivni ovjes karakterizira mogućnost prilagodbe pneumatike elastičnih i prigušnih elemenata. Poluaktivni ovjes odlikuje promjenjivo prigušivanje hidrauličkih amortizera, dok niskoaktivni ovjes koristi hidraulički aktuator za regulaciju krutosti elastičnih elemenata.

Aktivni ovjes se odlikuje upotrebom aktuatora koji generira silu u širokom frekvencijskom rasponu karoserije i kotača. Za njegovo funkcioniranje zahtijeva se značajna vanjska energija. Aktivni ovjesi bolje balansiraju različite potrebe za udobnošću i sigurnošću, ali su često teži i skuplji. [1]

2.1. Vibracije vozila

Motorna vozila imaju vertikalne, uzdužne, poprečne i kutne vibracije. Takve vibracije vozila u koordinatnom sustavu X, Y i Z su prikazane na slici 2.



Slika 2. Prikaz vibracija vozila u koordinatnom sustavu [1]

Z-os/vertikalne vibracije (poskakivanje/bounce), “plivanje” vozila oko osi (yaw, yawing);

Y-os/poprečne vibracije, “galopiranje/poniranje” oko osi (pitch, pitching);

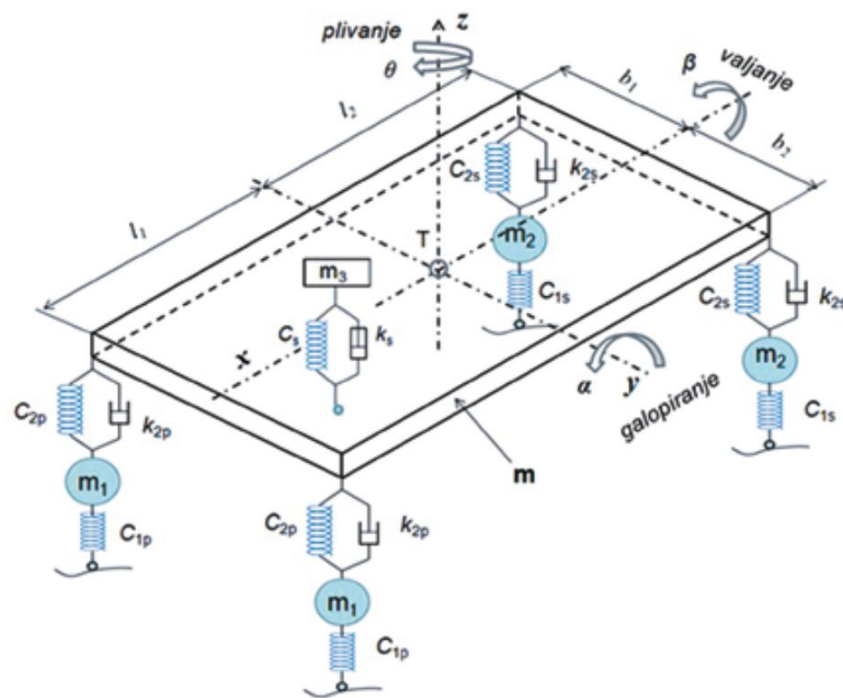
X-os/uzdužne vibracije, “valjanje/ljuljanje” vozila oko osi (roll, rolling)

Elastični elementi prikazani su oprugama krutosti C_{2i} i krutosti pneumatika C_{1i} na Slici 3. Vibracijski otpori su definirani karakteristikama prigušivanja amortizera k_{2i} . Vrste translatornih vibracija obuhvaćaju amplitude (pomake), frekvencije, brzine i ubrzanja vibracija, dok kutne vibracije uključuju kutne pomake, kutne brzine, kutna ubrzanja i moment inercije oko osi. Ovo je ključno iz perspektive udobnosti putnika i stabilnosti vozila.

Vozilo, kao kompleksna cjelina s mnogo komponenti koje vibriraju, posjeduje značajan broj stupnjeva slobode. Inženjeri nastoje konstruirati vozila na način koji će spriječiti ili smanjiti uzdužne i poprečne pomake karoserije, dok reguliraju vertikalne i kutne vibracije oko

poprečne osi. Ovaj pristup određuje broj stupnjeva slobode gibanja vozila. Među svim vrstama pomaka, posebno su važni pomaci i rotacije karoserije.

Svaki kotač neovisnog ovjesa doprinosi jednom stupnju slobode. Primjerice, sjedalo vozača ima svoj stupanj slobode, a postoji i niz drugih komponenata s vlastitim stupnjevima slobode. Na primjer, prema prikazanom modelu vozila na slici 3., koji uključuje 8 stupnjeva slobode, radi jednostavnosti, izostavljena je masa čovjeka, fokusirajući se na sustav sa 7 stupnjeva slobode (7 DoF).



Slika 3. Trodimenzionalni vibracijski model vozila s nezavisnim ovjesom [1]

m - ovješena masa (karoserija), m_1 - neovješena masa (prednji kotači), m_2 - neovješena masa (stražnji kotači), m_3 - masa čovjeka i sjedala, C_{2i} - krutost opruga, C_{1i} - krutost pneumatika, $k_{2,p,s}$ - prigušivanje amortizera, α - kut rotacije oko poprečne osi, β - kut rotacije oko uzdužne osi, θ - kut rotacije oko vertikalne osi

3. KOTAČI AUTOMOBILA

Motorna vozila se pokreću preko rotacije njihovih kotača. Kotači na vozilima podnose ukupno opterećenje vozila te omogućuju njegovo kretanje, upravljanje i zaustavljanje. Pneumatici se razlikuju prvenstveno po svojim dimenzijama i profilima, što se često označava oznakom "H/B". Kotači na komercijalnim vozilima, kao što su kamioni, autobusi, kombiji i SUV-ovi, obično imaju visokoprofilne gume koje su dizajnirane za podnošenje velikih osovinskih opterećenja. Na drugoj strani, osobna vozila obično koriste gume s profilom srednje visine, koje pružaju ravnotežu između vuče i udobnosti vožnje. Sportski automobili često su opremljeni niskoprofilnim gumama koje pružaju veću bočnu stabilnost.

Svaki kotač se sastoji od glavine kotača koja sadrži kotrljajući ležaj, naplatka i pneumatika. Osnovni dijelovi kotača su naplatak, koji se pričvršćuje za glavinu kotača pomoću 4 do 6 vijaka, i pneumatik (guma).

Brzina rotacije kotača izravno utječe na brzinu vozila. Na primjer, brzina od 120 km/h vozila odgovara otprilike 1000 okretaja kotača u minuti. Masa kotača osobnog vozila varira između 10 i 20 kg, dok svaki kotač može nositi opterećenje u rasponu od 200 do 800 kg. Informacije o dimenzijama i namjeni kotača obično su označene na bočnoj strani pneumatika, pružajući korisnicima informacije o opcijama za odabir odgovarajućih guma. [1]

3.1. Naplatci (felge)

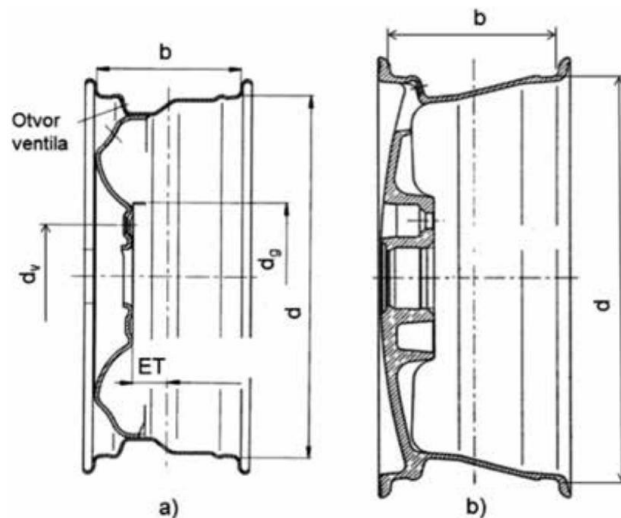
Naplatak kotača, poznat i kao felga, sastoji se od dva osnovna dijela: obruča i tanjura (zvijezde). Obruč predstavlja vanjski dio na kojem se smješta pneumatik, dok je tanjur unutarnji dio koji se povezuje s glavinom kotača. Oblik naplatka proizlazi iz njegove namjene i funkcionalnosti.

Tanjur često ima oblik s više izbočenih krakova koji omogućuju protok zraka radi hlađenja kočionog diska ili bubnja, istovremeno pružajući aerodinamičku funkciju smanjenja otpora zraka. Osim što ima važnu funkcionalnu svrhu, naplatak također pridonosi estetskoj vrijednosti vozila.

Po vrsti materijala od kojih se izrađuju naplatci se uglavnom dijele na dvije vrste: čelični naplatci i naplatci od lake legure aluminija (često zvani „alu-felge“).

Čelične felge su izuzetno izdržljive i otporne na udarce i oštećenja u usporedbi s aluminijskim felgama. Aluminijske felge su znatno lakše od čeličnih felgi, otprilike tri puta manje težine. Zbog toga se aluminijske felge često koriste za kotače većeg promjera, kao što su one veličine 16", 17", 18" i 19". Manja rotacijska masa aluminijskih felgi rezultira manjim otporom ubrzanju vozila. Osim toga, u usporedbi s čeličnim felgama, aluminijske felge bolje vode toplinu koja se stvara tijekom kočenja.

Čelične felge izrađuju se od vruće valjanog lima i obično imaju obruč debljine između 1,8 mm i 4,0 mm. Kod teretnih vozila, obruč felge se često sastoji iz više dijelova, kao što je primjerice sustav trilex. S druge strane, aluminijske felge proizvode se lijevanjem ili kovanjem, čime se postiže željeni oblik i čvrstoća. [1]



Slika 4. Presjek čeličnog (a) i aluminijskog (b) naplatka [1]

b - širina felge, d - promjer felge, d_v - promjer kružnice vijaka,

d_g - promjer glavine kotača, ET - (njem. Einpresstiefe) - offset felge / dubina tanjura od središta naplatka, može biti pozitivna, negativna ili jednaka nuli

Primjer označavanja naplatka: 7J x 17 H2 ET39 5x110

7 - širina felge (b) u inčima (colima)

J - visina roga felge (17,3 mm)

x - označava duboku felgu (ako je felga plitka, se oznaka x izostavlja)

17 - promjer felge u colima (d)

H2 - obostrano Hump uzvišenje felge (grba)

ET39 - offset felge/dubina središta kotača do prirubnice +39 mm

5x110 - pet provrta za vijke, promjera glavine 110 mm

3.2. Pneumatici (gume)

Pneumatici imaju različite funkcije u kontekstu vozila i mogu se promatrati iz više aspekata. Djeluju kao prijenosnici sile za vuču i kočenje vozila i ujedno su bitni za upravljanje vozilom, igraju ulogu u ovjesu te sudjeluju u aktivnim sustavima stabilnosti poput ABS-a, ASR-a i ESC-a. U kontekstu osobnih vozila, postoje dvije osnovne vrste pneumatika, to su standardni (balon) i niskoprolni pneumatici. Odabir pneumatika za određeno vozilo obično se temelji na različitim kriterijima:

- vrsta pneumatika (ljetni, zimski, cjelogodišnji, trkaći).
- konstrukcija pneumatika (radijalni, dijagonalni), i imaju li zračnicu ili ne.
- dimenzije kotača, uključujući veličinu naplatka i vanjski promjer.
- nosivost pneumatika, što se označava indeksom opterećenja kotača.
- brzina kretanja vozila (v).
- profil pneumatika (H/B).
- različite klase efikasnosti, uključujući karakteristike kotrljanja, prianjanja i buke [1]



Slika 5. Vrste pneumatika po namjeni [1]

Vanjski dio pneumatika, poznat kao gazna površina, izrađuje se od čvrste gume kako bi se osigurala otpornost na habanje i poboljšano prianjanje. Gazna površina često ima kanale kako bi se povećala sposobnost prianjanja na vlažnim površinama. Oblik profila i materijal gazne površine igraju ključnu ulogu u određivanju tri ključna svojstva pneumatika: otpora kotrljanju, prianjanja i buke.

Uzdužni blokovi, koji se nalaze između uzdužnih kanala ili utora, služe za održavanje pravca vozila, dok poprečni blokovi, smješteni između poprečnih kanala, prenose vučnu ili kočnu silu. Za suhe površine, koristi se profil gazne površine s manjim kanalima, što rezultira boljim prianjanjem, manjim habanjem i smanjenim bočnim klizanjem. Nasuprot tome, na mokrim površinama koristi se profil s većim i dubljim kanalima kako bi se brže uklonila voda ispod pneumatika. Kada se vozi na različitim vrstama podloge, može se koristiti univerzalni profil gazne površine s manje dubokih kanala u sredini i dubljim kanalima na vanjskim stranama gazne površine.

Postoje tri glavna tipa profila gazne površine (slika 6.):

- Simetrični profil - Ovaj profil izgleda isto s obje strane pneumatika i često se koristi.
- Asimetrični profil - Asimetrični profil kombinira različite blokove na gaznoj površini kako bi poboljšao prianjanje na mokrim i suhim površinama. Srednji dio je dizajniran za vlažne uvjete vožnje, dok su bočni dijelovi optimizirani za vožnju u zavojima.

- V-oblik profil - V-oblik profil omogućava učinkovito uklanjanje vode ispod pneumatika, čime se smanjuje rizik od pojave vodenih klinova, poznatih kao aquaplaning.



Slika 6. Tipovi profila gazne površine: simetrični, asimetrični, V-oblik [1]

Na bočnim stranama pneumatika otisnute su njegove oznake. Također, pneumatici su još i trgovački označeni etiketom o klasama efikasnosti pneumatika.

Primjer označavanja pneumatika: 195/65 R 15 91 H

195 - širina pneumatika pod tlakom u mm ($B = 195$ mm)

65 - visina profila pneumatika, odnos $H/B = 65\% \rightarrow H = 126,75$ mm

R - tip pneumatika (R - radijalni)

15 - promjer felge u colima [“], $d = 15 \cdot 25,4 = 381$ mm

91 - indeks nosivosti, 615 kg

H - oznaka maksimalne brzine 210 km/h

Tablica 1. Indeksi nosivosti [1]

Indeks	65	69	70	74	80	82	84	88	91	94	98	102	104	107	109
Nosivost (kg)	290	325	335	375	450	475	500	560	615	670	750	850	900	975	1030

Tablica 2. Indeksi brzine [1]

Indeks brzine	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	H	V	W	Y
Brzina (km/h)	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	240	270	300

Na bočnim stranama gume mogu se pronaći dodatne oznake koje pružaju važne informacije o samoj gumi. To uključuje naziv proizvođača, datum proizvodnje, vrstu gume, brzinu potrošnje gume, smjer montaže i druge korisne podatke.

Datum proizvodnje je posebno značajan jer guma s vremenom gubi svoje karakteristike. Primjerice, oznaka "DOT XXXX XXX 3518" ukazuje na datum proizvodnje. Oznaka "DOT" (Department of Transportation) označava da guma ispunjava određene propise. Sedmoslovni i brojčani kod identificira proizvođača i homologaciju gume, dok broj 3518 označava 35. tjedan 2018. godine proizvodnje.

Oznake M+S označavaju zimske gume s dodatkom pahuljice, RF označava ojačane gume, a XL označava gume za veća opterećenja. Smjer montaže i indikator istrošenosti (TWI - Tread Wear Indicator) također se nalaze na bočnicama guma. [1]



Slika 7. Primjer oznaka na gumama

Na slici 7. je primjer označavanja raznih gore spomenutih svojstava gume:

a - oznaka dimenzije, nosivosti i indeksa brzine gume

b - oznaka pahuljice, ukazuje da je u pitanju zimska guma

c - indikator istrošenosti (TWI), na slici krugom označeni indikator u kanalu gume i bočna oznaka njegovog položaja

d – oznaka datuma proizvodnje gume

3.2.1. Nadzor tlaka pneumatika

Ventil omogućuje punjenje pneumatika zrakom i kontrolu tlaka. Prilikom rotacije kotača, ventili su izloženi centrifugalnoj sili, periodičnom savijanju zbog ubrzanja i kočenja, toplinskom starenju uzrokovanom toplinom generiranom pri kočenju, različitim utjecajima okoline poput vlage, soli, leda te unutarnjem tlaku pneumatika.

Standardizirani promjeri ventila su \varnothing 8,8 mm, 9,7 mm, 11,3 mm i 15,7 mm. Duljina ventila varira ovisno o dimenzijama felge. Pri zamjeni pneumatika, gumeni ventili se također zamjenjuju novim. Posebna pažnja treba biti posvećena kvaliteti brtvenog spoja između ventila i provrta, jer nedostatak kvalitete može rezultirati gubitkom tlaka i nesigurnostima tijekom vožnje.

Ventilske kapice (slika 8.) igraju ključnu ulogu u sprječavanju onečišćenja ventila i potencijalnog propuštanja, čime dodatno osiguravaju ispravno funkcioniranje ventila i održavaju optimalan tlak u pneumaticima. [1]



Slika 8. Ventil i kapica

3.2.2. Parametri kotrljanja, prianjanja i buke kotača

Tijekom kotrljanja kotača javlja se djelomično proklizavanje gume na dodiru s podlogom, koje omogućuje prianjanje i prijenos sila na podlogu. Autogume moraju istovremeno zadovoljiti zahtjeve smanjenja otpora kotrljanja i povećanja prianjanja. Postizanje ravnoteže između ova dva suprotna zahtjeva predstavlja izazov. Ipak, razvojem pneumatika, ovi parametri se mogu promatrati nezavisno. To je rezultiralo klasifikacijom pneumatika prema efikasnosti kotrljanja i prianjanja na mokroj podlozi. Primjerice, primjena silike kao tehnologije smanjuje otpor kotrljanja, dok istodobno povećava sposobnost prianjanja na mokroj podlozi.

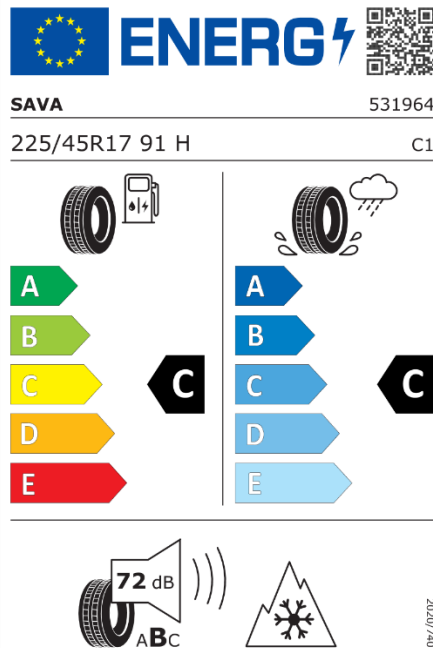
Pri kontaktu kotača i podloge, istodobno se analiziraju:

- koeficijent otpora kotrljanja (f_k) koji ovisi o tlaku zraka u pneumatiku (deformaciji gume), vrsti podloge i brzini kretanja vozila
- koeficijent prianjanja (μ) koji ovisi o stanju pneumatika i stanju površine puta (grubost, suho, vlažno, mokro).

3.2.3. Klase efikasnosti pneumatika

Pneumatici nose određenu etiketu (naljepnicu) s oznakom efikasnosti potrošnje goriva, prianjanja na mokroj podlozi, te buke koju proizvodi – koja pokazuje njihovu efikasnost, koristeći rangiranje od “A” do “E” (slika 9.). Informacije o tim podacima pneumatika vidljive su na etiketi svake gume, a sadrže tri klase efikasnosti:

1. klasa potrošnje goriva (A - E)
2. klasa prianjanja na mokroj podlozi (A - E)
3. klasa buke i mjerena vrijednost buke (valovi buke, dB)



Slika 9. Primjer naljepnice s klasom efikasnosti pneumatika [4]

Simbol benzinske crpke simbolizira potrošnju goriva, koja je temeljena na otporu kotrljanja pneumatika. Indikator efikasnosti označava se bojama od zelene do crvene, informirajući potrošača o energetskej učinkovitosti gume te njezinom utjecaju na okoliš putem smanjene emisije CO₂.

Testiranje efikasnosti provodi se prema ISO 28580 normi, koja definira laboratorijsko mjerenje otpora kotrljanja pneumatika. Uredba ECE UNECE R 117 opisuje mjerenje prijanjanja na mokroj podlozi pri kočenju i mjerenje buke kotrljanja, na temelju kojih se određuju klase efikasnosti.

Označavanje guma na bočnim stranama i putem etikete doprinosi preciznom odabiru pneumatika. Pri relevantnoj brzini ispitivanja vozila od 80 km/h, primjetne su razlike u potrošnji goriva između klasa A, B, C, D, E, s varijacijama od $\pm \sim 2,5\%$. Ove razlike odražavaju različite razine emisije ispušnih plinova vozila, što ima izravan utjecaj na zaštitu okoliša.

Smanjenjem otpora kotrljanja pneumatika značajno se doprinosi energetske učinkovitosti prijevoza, smanjujući istovremeno štetne emisije ispušnih plinova. U analizi dinamike vožnje, otpor kotrljanja se izražava pomoću koeficijenta otpora kotrljanja (f_k), koji je bezdimenzijski parametar. Povećana deformacija pneumatika rezultira većim otporom kotrljanja i, kao posljedicom, povećanom potrošnjom goriva. Koeficijent otpora kotrljanja najviše ovisi o tlaku zraka u pneumaticima, vrsti podloge i brzini kretanja vozila. Također, veća gazna površina gume doprinosi povećanju otpora kotrljanja. [1]

Simbol prijanjanja na mokroj podlozi predstavlja ključni faktor sigurnosti vožnje, jer gume s visokim stupnjem prijanjanja značajno smanjuju put kočenja. Klasifikacija prijanjanja obuhvaća klase od A do E. Klasa učinkovitosti prijanjanja utvrđuje se laboratorijski, temeljem indeksa prijanjanja na mokroj površini (označenog kao G). Razlika u putu kočenja između različitih klasa na mokroj podlozi, pri brzini od 80 km/h, proteže se od 1 do 2 duljine automobila (3,0 - 6,0 m), s prosječnim odstupanjem od oko 4,5 m. Na primjer, razlika u zaustavnom putu između klase "A" i "E" premašuje 18 m.

U analizi dinamike vožnje, prijanjanje se mjeri koeficijentom prijanjanja (μ), koji je bezdimenzijski parametar. Ovaj koeficijent varira ovisno o stanju pneumatika (novi, korišteni, tlak zraka) i stanju površine ceste (istrošenost, suho, vlažno, mokro). Maksimalna vrijednost koeficijenta prijanjanja postiže se u situaciji djelomičnog klizanja pneumatika (označeno kao $s\%$), a takvo stanje trakcije obično se javlja u rasponu između 10% i 20%. To se područje

naziva "područje gripa", gdje vozilo postiže najbolje performanse pri kretanju. Što je zaustavni put tijekom kočenja kraći, to je klasa prijanjanja bolja.

Simbol zvučnika označava razinu buke koju proizvode pneumatici tijekom kotrljanja. Snimanje buke provodi se na udaljenosti od 7,5 metara od staze. Razina vanjske buke izražena je u decibelima (dB) i prikazuje maksimalne vrijednosti pritiska zraka, mjerene pri brzini od 80 km/h. Buka generirana gumama značajno utječe na udobnost vozača i okolinu.

Bučnost pneumatika ocjenjuje se pomoću valova buke, pri čemu manje crnih valova ukazuje na tišu gumu:

- 1 crni val - označava tihe pneumatike (69 dB), s bukom 3 dB ispod propisane razine.
- 2 crna vala - označava umjereno bučne pneumatike (72 dB), u skladu s europskim limitom iz 2016.
- 3 crna vala - označava bučne pneumatike, s bukom iznad propisanog europskog limita iz 2015. godine. [1]

3.2.4. Deformacija pneumatika ovisno o tlaku

Na slici su opisani utjecaji različitih tlakova na deformaciju gume i općenito vozna svojstva pri tim tlakovima. Ako su gume premalo ili prenapuhane, to utječe na upravljivost. Upravljanje postaje sporo ako su gume premalo napuhane, a opasno ako su prenapuhane, osobito ako se u zavojima vozi velikom brzinom. To utječe na zaustavni put, prijanjanje pri kočenju i stabilnost smjera. Dok se gume bore da ostanu na cesti, toplina se nakuplja, povećavajući vjerojatnost pucanja i veću šansu ozbiljne nesreće.



Slika 10. Utjecaj tlaka na gazni sloj i deformaciju gume [5]

Na slici su prikazani slučajevi razine tlaka u gumama i njihov utjecaj na udobnost i upravljivost vozila, trošenje gaznog sloja guma i potrošnju goriva. Ti utjecaji su dokazani u daljnjim poglavljima ovog rada.



Slika 11. Bočnica gume pri tlaku od 2,3 bara

Na slici 11. je prikazana bočnica gume korištene za mjerenja u praktičnom dijelu rada. Pri standardnom tlaku za tu gumu od 2,3 bara, u stacionarnom stanju, udaljenost od podloge do felge (naplatka) iznosi 60 mm.



Slika 12. Bočnica gume pri tlaku od 1,9 bara

Pri tlaku od 1,9 bara, udaljenost od podloge do felge (naplatka) iznosi 56 mm (slika 12.), što u prijevodu logično znači s manjim tlakom niži je i bok gume. Vezano s manjkom tlaka, guma se više deformira i na sebe preuzima više udarnih opterećenja nastalih od neravnina na cesti u usporedbi sa standardnim tlakom. Ova činjenica je dokazana u poglavlju Mjerenje utjecaja tlaka pri naletu na neravninu.



Slika 13. Bočnica gume pri tlaku od 2,7 bara

Pri tlaku od 2,7 bara, udaljenost od podloge do naplatka (felge) iznosi 63 mm (slika 13.).

U gumi je veća količina zraka i s time se sama guma manje deformira i preuzima manje opterećenja nastalih zbog neravnina. Veći dio tih opterećenja se prenosi dalje kroz ovjes automobila i smanjuje se udobnost vožnje. [7]

4. EKSPERIMENTALNI DIO

4.1. Opis vozila i guma korištenih u mjeranju

Vozilo korišteno za mjerenje je njemački osobni automobil Opel Astra H GTC iz 2006. godine. Pogoni ga 1,9-litarski turbodizelski motor sa 4 cilindra i 16 ventila.

- Maksimalna snaga motora - 110 kW (150 konjskih snaga) pri 4000 o/min
- Maksimalni okretni moment - 320 Nm pri 2000 o/min.
- Mehanički mjenjač sa 6 stupnjeva prijenosa
- Masa automobila - 1414 kg
- Faktor otpora zraka C_d iznosi 0.32. [3]

Deklarirana potrošnja s ovim motorom je 7,4 L/100km u gradu, 4,9 L/100 km na otvorenoj cesti i 5.8 L/100 km u kombiniranoj vožnji. [3]



Slika 14. Automobil korišten u mjerenjima

Gume korištene u mjerenjima su zimske gume slovenske tvrtke Sava, model Eskimo HP2 u dimenziji 225/45 R17.

330 Tehnički podaci

(nastavak)
Tlak u gumama u barima¹⁾

Motor ³⁾	Gume	Tlak u gumama za opterećenje do 3 osobe		Tlak u gumama ECO ²⁾ s opterećenjem do 3 osobe		Tlak u gumama za puno opterećenje	
		Prednje	Stražnje	Prednje	Stražnje	Prednje	Stražnje
Z 17 DTH	195/65 R 15, 205/55 R 16, 225/45 R 17	2,1	2,1	2,5	2,5	2,5	2,9
	215/45 R 17, 225/40 R 18	2,5	2,3	–	–	2,6	3,0
Z 19 DTL, Z 19 DT, Z 19 DTH	205/55 R 16, 225/45 R 17	2,3	2,1	2,7	2,5	2,5	2,9
	215/45 R 17, 225/40 R 18	2,6	2,4	–	–	2,7	3,1
svi	T 115/70 R 16 (privremeni rezervni kotač ⁴⁾)	4,2	4,2	–	–	4,2	4,2

¹⁾ Vrijednost od 1 bar odgovara 100 kPa.²⁾ Za postizanje najniže moguće potrošnje goriva. Nije za korištenje s run-flat gumama.
³⁾ Prodajne oznake – vidi stranice 308, 309.
⁴⁾ Napomene o privremenom rezervnom kotaču – vidi stranicu 250.

Slika 15. Preporučeni tlakovi u gumama

Na slici 15. prikazan je list iz priručnika za automobil korišten u mjerenjima. Označen je red s preporučenim tlakovima za korištenu dimenziju u kombinaciji sa spomenutim pogonskim motorom automobila. Primjetno je da se tlak viši od zadanog smatra ECO postavkom, koja navodno služi za postizanje najniže moguće potrošnje goriva, što je nadalje testirano u poglavlju Potrošnja pri tlaku višem od zadanog. Za tlak niži od zadanog je korišten tlak od 1.9 bara u prednjim i 1,8 bara u stražnjim gumama. Ti tlakovi su od 0,3 do 0,4 bara niži od zadanog kako bi se osigurala podjednaka razlika kao što je između zadanog i višeg tlaka.

4.2. Mjerenje utjecaja tlaka pri naletu na neravninu

U ovom poglavlju izmjeren je utjecaj tlaka u gumama pri naletu na neravninu, ili jednostavnije rečeno, utjecaj tlaka na udobnost vožnje. Opisani su uvjeti i postupak mjerenja, mjerenja su prikazana dijagramima ubrzanja G-sile i na kraju je izveden zaključak.

4.2.1. Uvjeti mjerenja ubrzanja

U nastavku su detaljnije opisani uvjeti ovog mjerenja, počevši od same neravnine preko koje se prelazi, zatim o korištenom mjernom alatu i o samom postupku izvođenja mjerenja.

4.2.1.1. Neravnina

Kao neravnina za mjerenje korištena je drvena daska visine 40 mm i širine 125 mm učvršćena s obje strane zakočenim vozilima kako bi osigurali poziciju (slika 16.). Mjerenja su izvedena na privatnom dvorištu, sve u istom danu pri temperaturi zraka od 12 °C i s hladnim gumama.



Slika 16. Prikaz uvjeta mjerenja

Mobitel koji je služio za mjerenja je učvršćen na vjetrobransko staklo uz pomoć vakuumnog stalka i pozicioniran je na način da bi se spriječilo pomicanje tijekom prelaska neravnine (slike 17. i 18.).



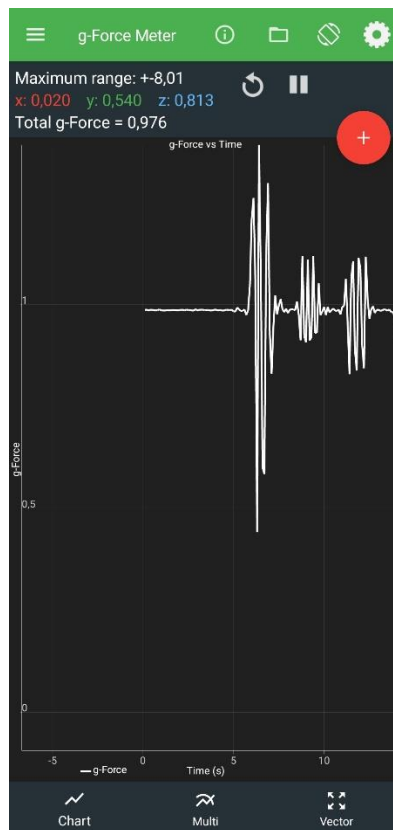
Slika 17. Prikaz položaja mobitela tijekom mjerenja



Slika 18. Detaljan prikaz položaja mobitela

4.2.1.2. Mjerni alat

Mjerenje sile pri naletu na neravninu izvršeno je uz pomoć akcelerometra koji je ugrađen u sve moderne mobilne telefone. Za pretvorbu signala u prikaz prikladan za mjerenje korištena je aplikacija s usluge Google Play Store pod imenom Physics Toolbox Sensor Suite (slika 19.). Aplikacija ima frekvenciju uzorkovanja od 800 herca, što daje poprilično detaljne rezultate.

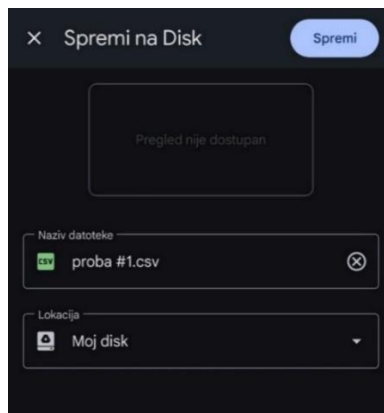


Slika 19. Sučelje aplikacije Physics Toolbox Sensor Suite

4.2.1.3. Postupak mjerenja

Prije neravnine vozač je krenuo u prvoj brzini bez primjene papučice gasa (tzv. "ler-gas"). Brzina kojom automobil nailazi na neravninu je 7,3 km/h (proračun u nastavku). Prije nailaska na neravninu uključeno je mjerenje u aplikaciji Physics Toolbox Sensor Suite.

Nakon cijelog prijelaza (s prednjim i stražnjim kotačima) mjerenje je isključeno i podaci su pohranjeni na Google Disk (slika 20.) kako bi kasnije mogli u obradu i grafički prikaz u MS Excelu.



Slika 20. Pohrana rezultata mjerenja

time	gFx	gFy	gFz	TgF
0.0011008	0,0063	0,9723	0,2180	0,996
0.0014431	0,0063	0,9754	0,2383	1,004
0.0016804	0,0010	0,9779	0,2581	1,011
0.0019123	0,0056	0,983	0,2720	1,02
0.0020942	0,0063	0,9862	0,2769	1,024
0.0029320	0,0039	0,9833	0,2710	1,02
0.0041785	0,0049	0,9776	0,2559	1,011
0.0053914	0,0088	0,9737	0,2351	1,002
0.0066774	0,0117	0,973	0,2149	0,997
0.0078669	0,0125	0,9747	0,2034	0,996
0.0092373	0,0137	0,9801	0,2066	1,002
0.0102720	0,0161	0,9833	0,2185	1,007
0.0120179	0,0186	0,9813	0,2302	1,008
0.0134213	0,0168	0,982	0,2361	1,01
0.0139594	0,0103	0,9859	0,2307	1,013
0.0152764	0,0044	0,9876	0,2139	1,011
0.0164438	0,002	0,9876	0,1936	1,006
0.0176038	0,0005	0,9894	0,1763	1,005
0.0189092	0,0002	0,994	0,1631	1,007
0.0200715	0,001	1,0021	0,1577	1,014
0.0213613	0,0029	1,0062	0,1626	1,019

Slika 21. Izgled izvornih rezultata mjerenja

Na slici 21. se nalazi prikaz izvornog Excel dokumenta izvršenog mjerenja, odnosno dokument koji je ranije pohranjen na Google Disk izravno iz mjerne aplikacije. U stupcu *time* prikazano je vrijeme u sekundama u kojima je zabilježen određeni rezultat. Ranije je spomenuto kako je frekvencija uzorkovanja podataka oko 800 herca. To znači da se podaci pohranjuju svakih 0,00125 sekundi, što nam daje precizna mjerenja.

Nadalje, stupci gFx , gFy i gFz predstavljaju x,y,z komponente G-sile koja se mjeri. Za ovo mjerenje je potreban zadnji stupac TgF, što je skraćenica za Total G force (ukupna G sila). G sile su komponenta ubrzanja na osi z (slika 2., str 4.), stoga su u dijagramima koji slijede označene a_z .

Normalna sila teža na planeti Zemlji iznosi $9,81 \text{ m/s}^2$ što je u ovoj aplikaciji prikazano kao vrijednost 1. Podaci prikazani u idućim mjerenjima su vrijeme u milisekundama i vertikalna komponenta ubrzanja izražena u m/s^2 .

Naknadno su u Excel programu mjerenja uređena tako da je vrijednost 1 (normalna sila teža) u dijagramu prikazana kao nul-linija. Vrijednosti veće od 0 označavaju ubrzanja jača od gravitacije, odnosno pritisak karoserije vozila prema dolje zbog nailaska na izbočinu. Vrijednosti manje od 0 označavaju ubrzanja manja od gravitacije, odnosno amortizaciju; podizanje karoserije vozila nastalu djelovanjem ovjesa.

Izvedeno je ukupno 9 mjerenja, po 3 sa svakim različitim tlakom; prvo sa zadanim tlakom, zatim s višim i na kraju s nižim tlakom.

4.2.1.4. Proračun brzine nailaska na neravninu

Brzina vrtnje motora

$$n_M = 850 \text{ min}^{-1}$$

Prijenosni omjer diferencijala

$$z_d = 3,65 \quad [6]$$

Prijenosni omjer prve brzine

$$z_1 = 3,818 \quad [6]$$

$$n_k = \frac{n_M}{z_d \cdot z_1} = \frac{850}{3,65 \cdot 3,818} = 61 \text{ min}^{-1} \quad (1)$$

Radijus kotača = radijus felge + bočni profil gume

$$r_f = \frac{17 \cdot 25,4}{2} = 215,9 \text{ mm} \quad (2)$$

Guma 225/45 R17

$$H/B = 45\% \rightarrow 225 \cdot 0,45 = 101,25 \text{ mm} \quad (3)$$

$$r_k = 215,9 + 101,25 = 317,15 \text{ mm} \quad (4)$$

Opseg kotača

$$O_k = 2r_k\pi = 1992,71 \text{ mm} = 1,9927 \text{ m} \quad (5)$$

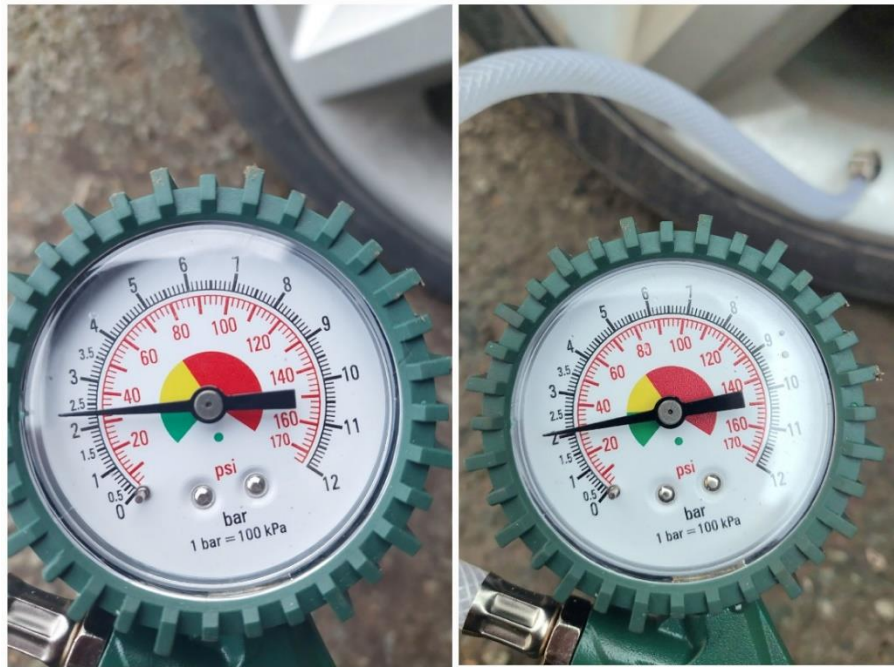
Brzina vozila

$$v = \frac{s}{t} = \frac{n_k \cdot O_k}{60} = \frac{61 \cdot 1,9927}{60} = 2,026 \text{ m/s} \quad (6)$$

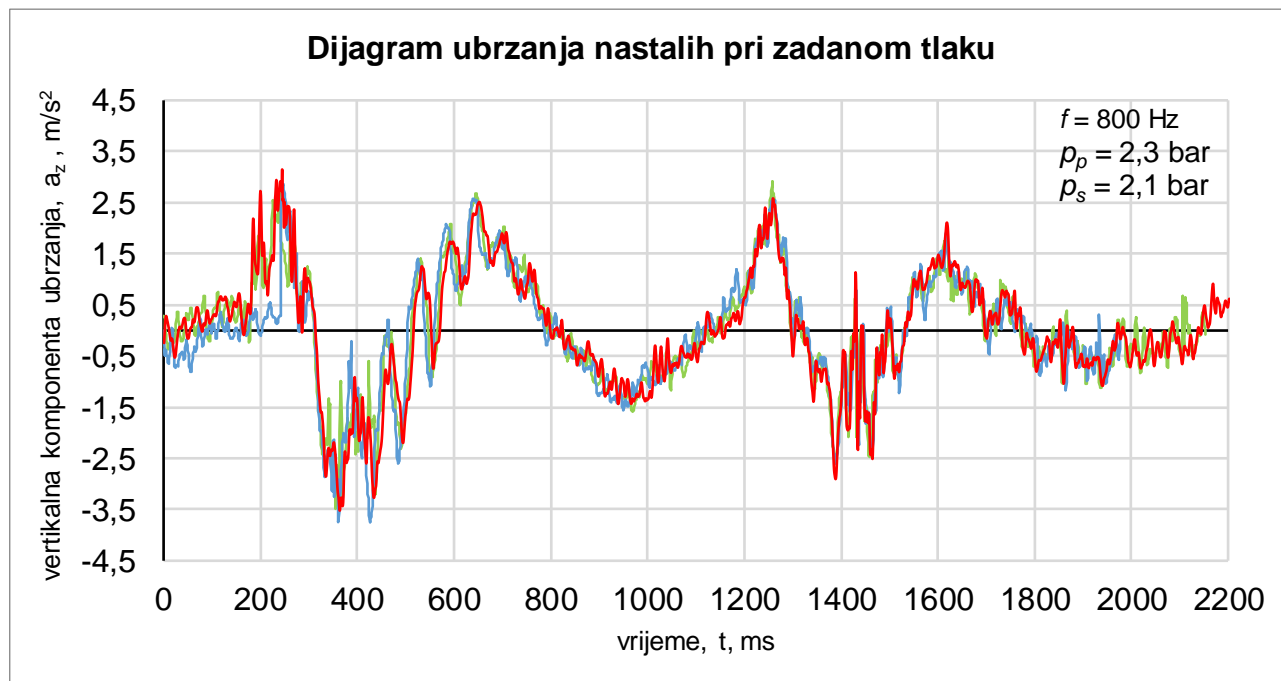
$$v = 2,026 \cdot 3,6 = 7,29 \text{ km/h}$$

4.2.2. Mjerenje vertikalnih ubrzanja pri zadanom tlaku

U prvoj fazi mjerenja tlak u gumama je iznosio 2,3 bara u prednjim i 2,1 bara u stražnjim gumama. Na slici 22. je prikaz tlaka na manometru za ovaj slučaj; lijevo – prednje gume, desno – stražnje gume.

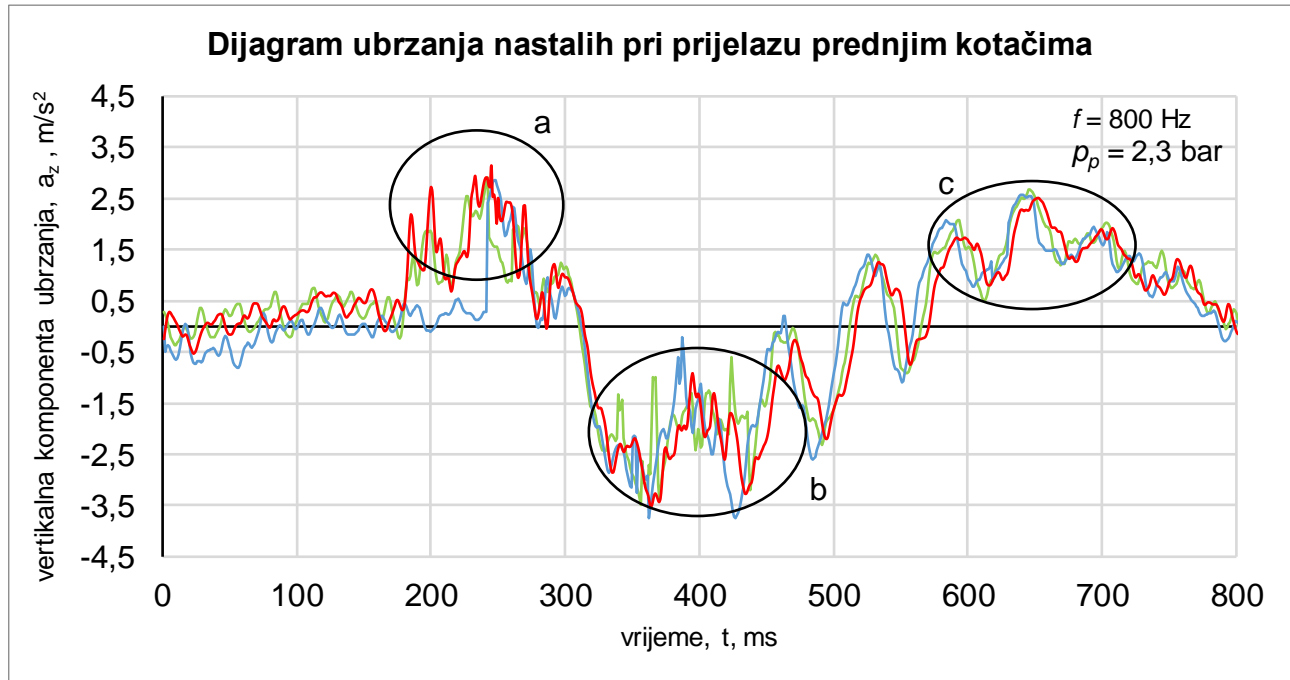


Slika 22. Manometarski prikaz zadanog tlaka

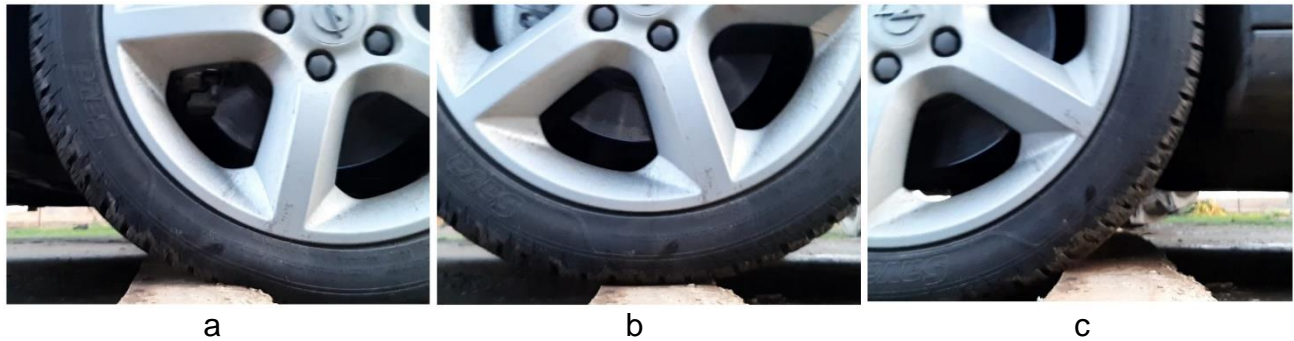


Slika 23. Dijagram ubrzanja pri zadanom tlaku

U ovom dijagramu (slika 23.) i svakom idućem dijagramu prikazana su 3 mjerenja izvedena sa spomenutim tlakom u gumama. Vertikalna os je komponenta ubrzanja, oznaka a_z , dok je horizontalna komponenta vrijeme. Oznaka p_p predstavlja tlak u prednjim gumama, dok je p_s tlak u stražnjim gumama. U nastavku slijedi pojašnjenje samih linija dijagrama.



Slika 24. Dijagram ubrzanja nastalih pri prijelazu prednjim kotačima

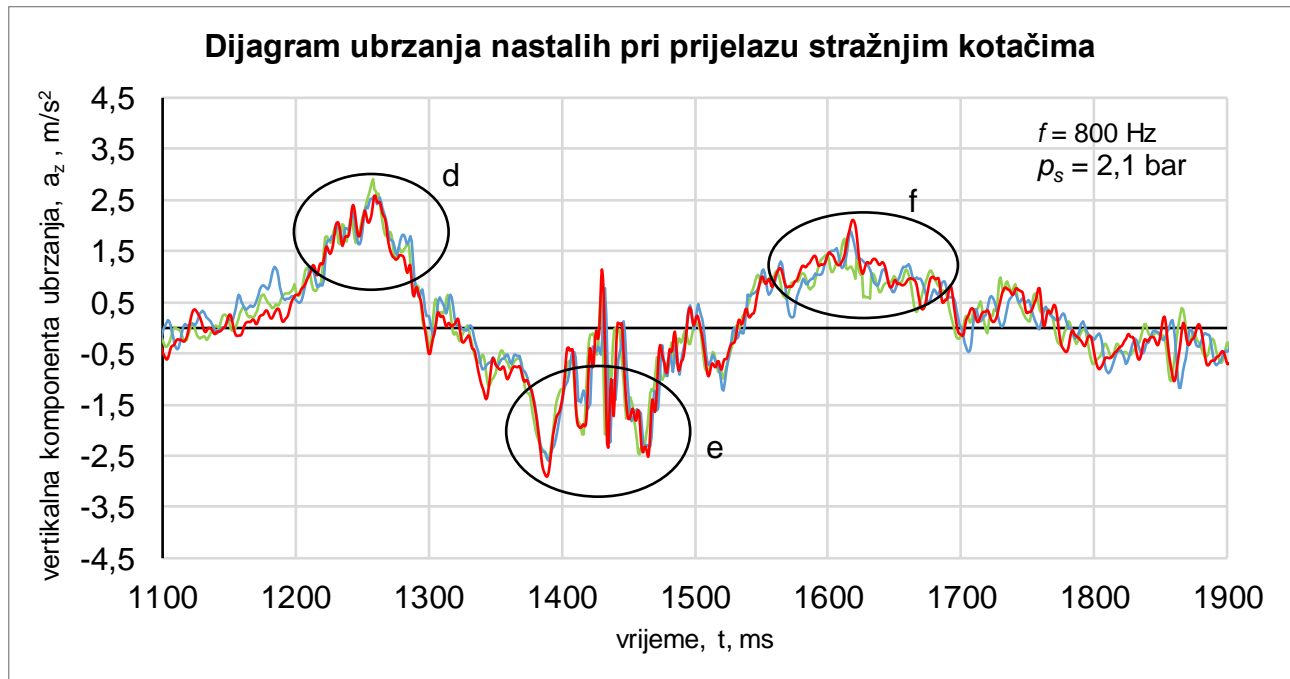


Slika 25. Položaji prednjeg kotača tijekom prijelaza preko neravnine

Na slici 25. prikazana su 3 položaja prednjeg kotača tijekom prijelaza preko neravnine i svaki od njih povezan je strijelicom s prikladnim dijelom dijagrama sila. Prikaz dijagrama je uvećan (slika 24.) kako bi se bolje prikazala povezanost ubrzanja i položaja kotača u odnosu na neravninu.

U prvom slučaju (a) kotač nailazi na neravninu i prvotni nalet utječe na vozilo kao pritisak prema podlozi (sila veća od sile teže, vrijednosti veće od nula). Ubrzo nakon toga, u drugom slučaju (b), ovjes vozila amortizira prvotni nalet i vozilo se djelomice odmiče od podloge (sila

manja od sile teže, vrijednosti niže od nula). U trećem slučaju (c) vozilo silazi s neravnine i ponovo se događa povećanje vertikalnog ubrzanja uslijed vraćanja na tlo.



Slika 26. Dijagram ubrzanja nastalih pri prijelazu stražnjim kotačima

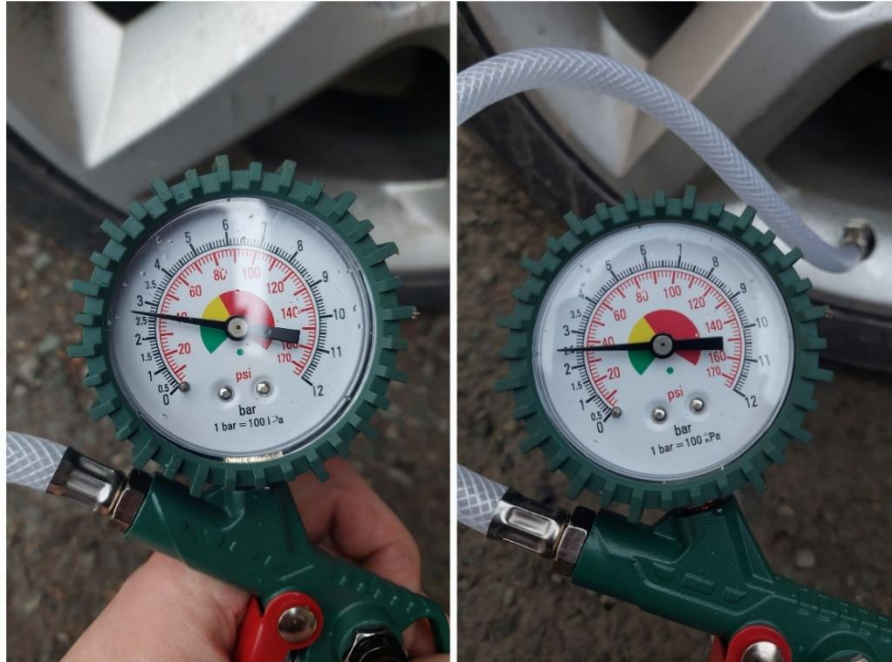


Slika 27. Položaji stražnjeg kotača tijekom prijelaza preko neravnine

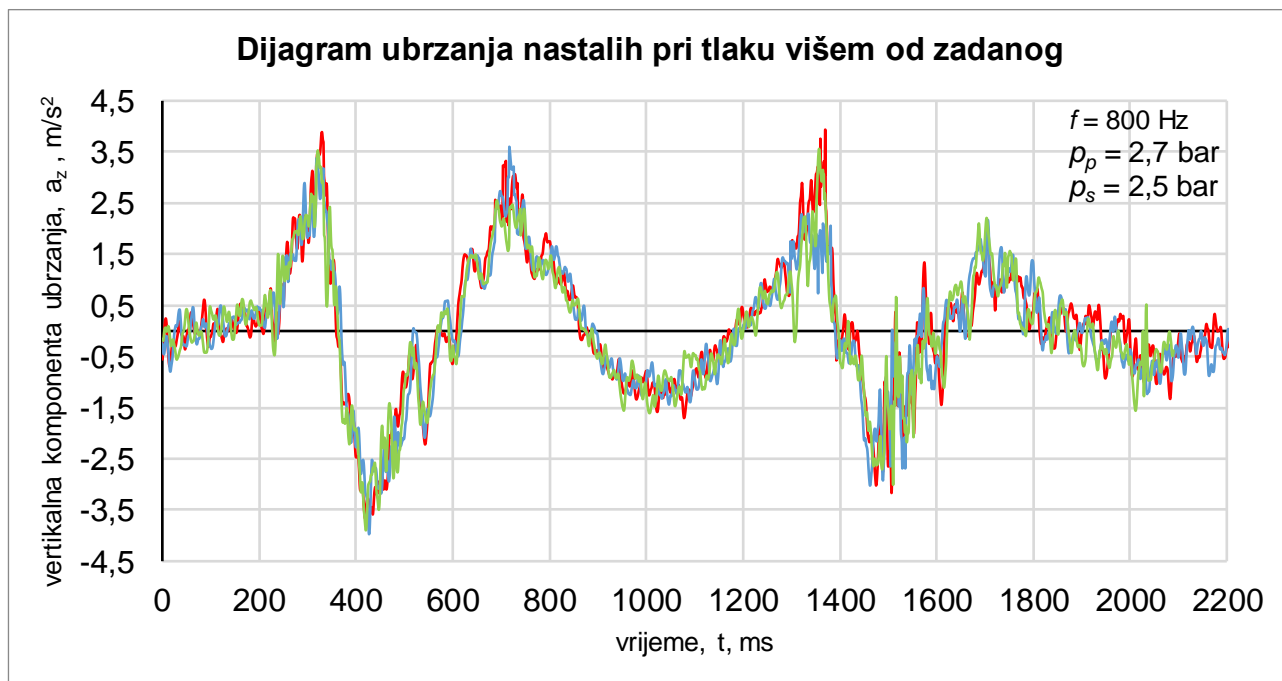
Na dijagramu na slici 26. prikazan je uvećan dio dijagrama s ubrzanjima pri prijelazu stražnjim kotačem. Na slici 27. prikazana su 3 položaja stražnjeg kotača tijekom prijelaza. Svaki dio dijagrama odgovara prikazanim položajima, isto kao u slučaju s prednjim kotačem.

4.2.3. Mjerenje vertikalnih ubrzanja pri tlaku višem od zadanog

U drugoj fazi mjerenja tlak u gumama je iznosio 2,7 bara u prednjim i 2,5 bara u stražnjim gumama, tzv. ECO postavka.



Slika 28. Manometarski prikaz tlaka višeg od zadanog

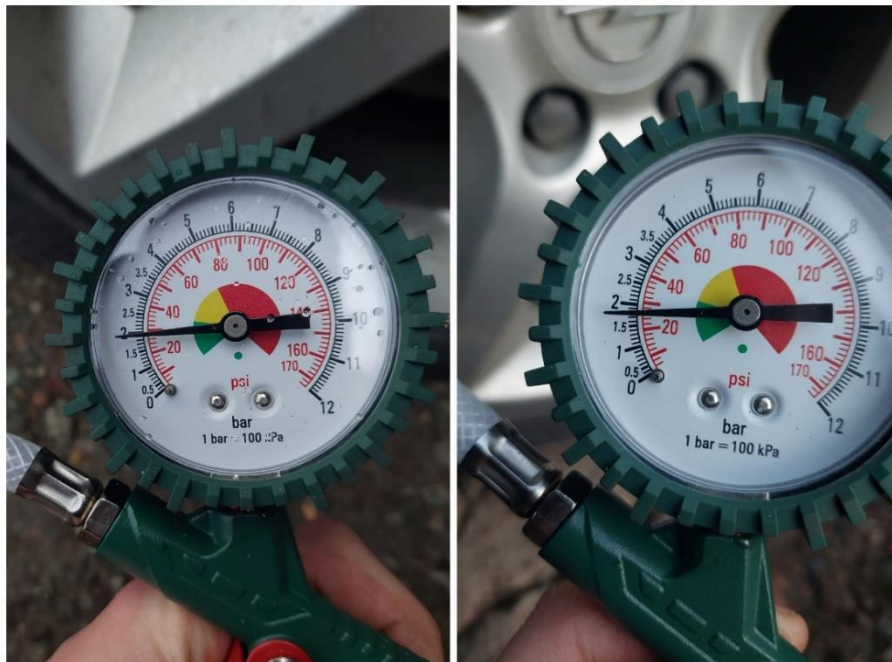


Slika 29. Dijagram ubrzanja nastalih pri tlaku višem od zadanog

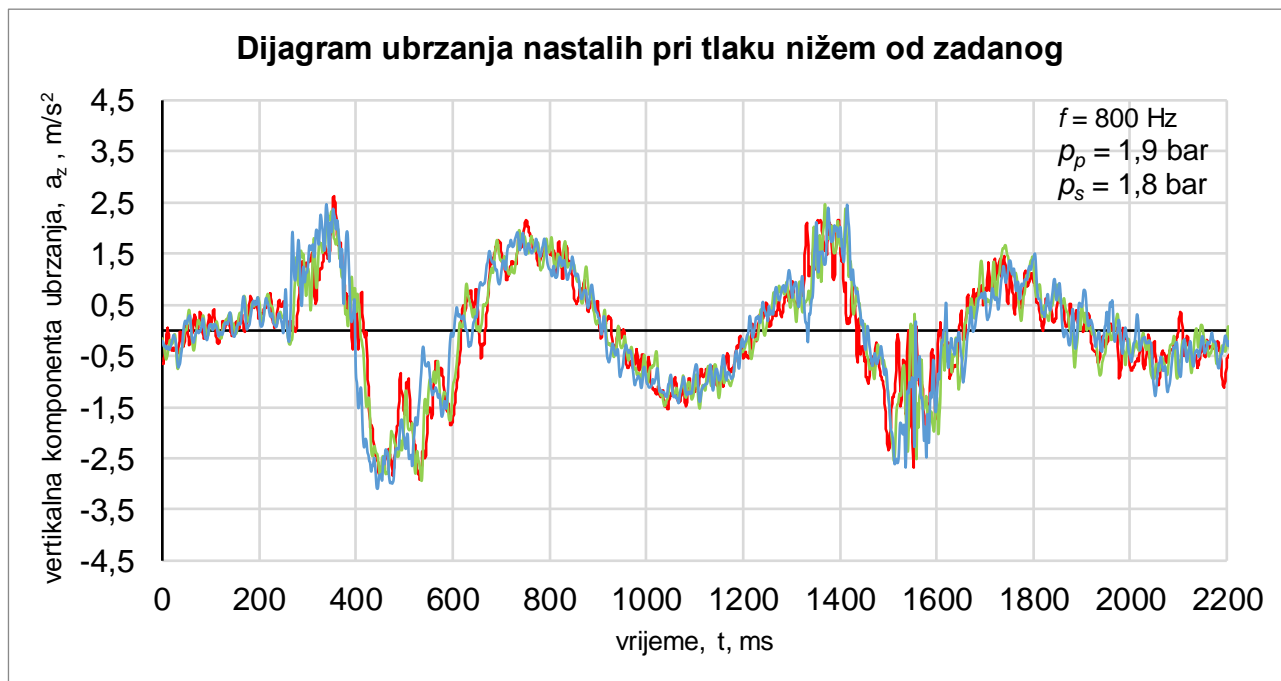
Na slici 29. nalazi se dijagram koji pokazuje vertikalna ubrzanja pri tlaku u gumama višim od zadanog. Možemo primjetiti kako su ubrzanja malo ekstremnija nego u slučaju sa zadanim tlakom, što u prijevodu znači smanjenu udobnost vožnje.

4.2.4. Mjerenje vertikalnih ubrzanja pri tlaku nižem od zadanog

U trećoj fazi mjerenja tlak u gumama je iznosio 1,9 bara u prednjim i 1,8 bara u stražnjim gumama (slika 30.).



Slika 30. Manometarski prikaz tlaka manjeg od zadanog



Slika 31. Dijagram ubrzanja nastalih pri tlaku nižem od zadanog

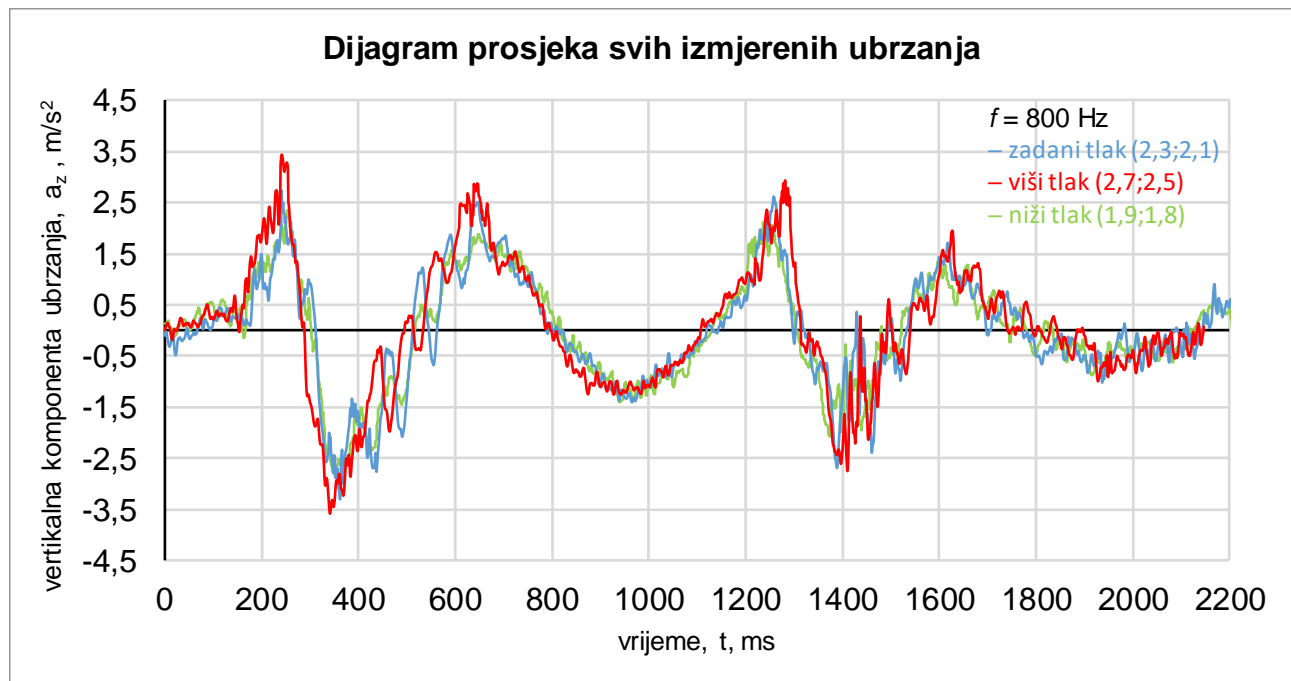
Na slici 31. nalazi se dijagram koji pokazuje vertikalna ubrzanja pri tlaku u gumama nižim od zadanog. Možemo primjetiti kako su ubrzanja poprilično blaža nego u slučaju sa zadanim tlakom, što u prijevodu znači udobniju vožnju.

4.2.5. Usporedba mjerenja

Dijagram na slici 32. sadrži prosječne vrijednosti svakog od 3 izvedena mjerenja. Plava linija predstavlja ubrzanja pri zadanom propisanom tlaku u gumama, crvena pri višem i zelena pri tlaku nižem od zadanog.

Razlika među ubrzanjima je očita, konkretno ubrzanja pri tlaku višem od zadanog su veća, što u prijevodu znači da je vožnja neudobnija. Ta pojava dugoročno može utjecati na trajnost ovjesa budući da se više sile prenosi na njega.

Ubrzanja pri nižem tlaku su manja i sukladno tome vožnja je udobnija, ali kao nedostatak u ovom slučaju veća je mogućnost oštećenja naplatka (felge) budući da je bočnica gume niža (manje zraka u gumi). Najisplativije i najsigurnije rješenje je držati gume pri zadanom tlaku propisanom od proizvođača.



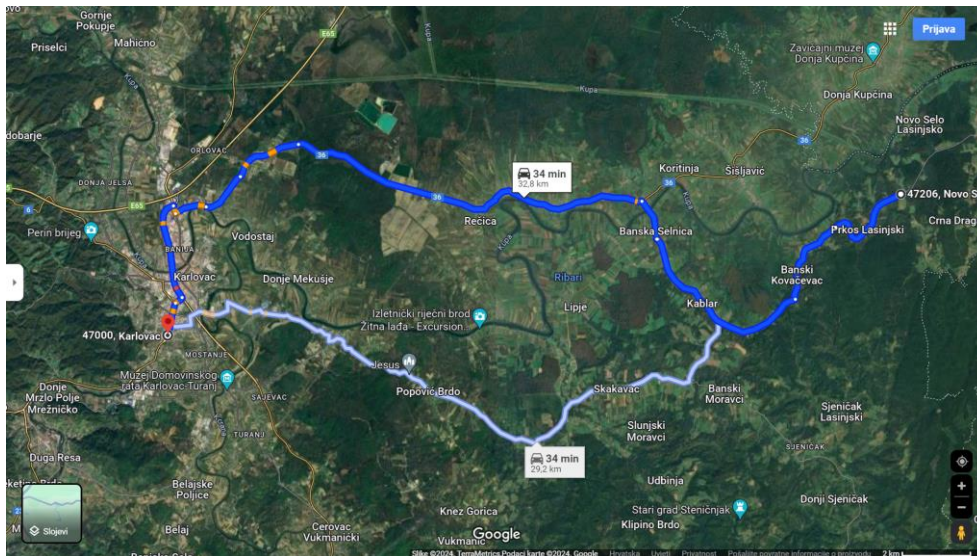
Slika 32. Dijagram prosjeka svih izmjerenih ubrzanja

4.3. Mjerenje utjecaja tlaka na potrošnju goriva

U ovom poglavlju izvršeno je mjerenje utjecaja tlaka na potrošnju goriva. Opisani su uvjeti vožnje: ruta, brzina vožnje i metode mjerenja.

4.3.1. Uvjeti mjerenja potrošnje goriva

Potrošnja goriva je mjerena pri brzinama od 60 do 90 km/h u četvrtom i petom stupnju prijenosa. Brzine vrtnje motora pri tim brzinama vožnje iznose između 1500 i 2000 o/min. Za uzorak je korištena prijeđena udaljenost od oko 500 kilometara. Prijeđena udaljenost se sastoji od 85 do 90 posto otvorene ceste, dok je 10 – 15 posto vožnje odvoženo u gradu (Karlovac).



Slika 33. Prikaz puta na kojem je mjerena potrošnja goriva

U automobilu je putovao samo vozač što znači da je ukupna masa vozila ista u svim testovima (cca. 1490-1520 kg, ovisno o količini goriva u rezervoaru). Kao pogonsko gorivo je korišten klasični euro dizel koji se nudi na svim benzinskim pumpama.

Princip mjerenja potrošnje je izveden koristeći dvije metode:

- podaci ugrađenog putnog računala u automobilu
- računanje potrošnje koristeći prijeđenu udaljenosti u kilometrima i količinu goriva koje je potrošeno prelaženjem te udaljenosti

4.3.2. Potrošnja pri zadanom tlaku

U ovoj fazi mjerenja tlak u gumama je iznosio 2,3 bara u prednjim i 2,1 bar u stražnjim gumama. Temperatura zraka tijekom mjerenja je iznosila između 5°C i 18°C. Nakon 501,4 prijeđena kilometra zabilježena su slijedeća mjerenja:



Slika 34. Podaci putnog računala o potrošnji pri zadanom tlaku

Iz ove slike vidljivo je da je putno računalo nakon 501,4 prijeđena kilometra izmjerilo da je potrošeno 28,8 litara dizela. Prosječna potrošnja prema ovim podacima iznosi 5,8 litara na 100 kilometara.

EURODIZEL	1,46	*	30,470 L	=	74 (25,0)	P5
ZA PLATITI EUR						44,49

Slika 35. Račun za gorivo potrošeno vožnjom pri zadanom tlaku

Nakon dolijevanja goriva, ustanovljeno je da je potrošeno 30,47 litara, što je 1,67 litara više od podataka s putnog računala. Formula za izračun potrošnje glasi:

$$\text{Potrošnja} = \frac{\text{količina goriva [L]}}{\text{prijeđena udaljenost [km]}} \cdot 100 \quad [\text{L}/100 \text{ km}]$$

Uvrštavanjem vrijednosti u formulu dobivamo sljedeće:

$$\frac{30,47 \text{ L}}{501,4 \text{ km}} \cdot 100 = 6,077 \approx 6,08 \text{ L}/100 \text{ km} \quad (7)$$

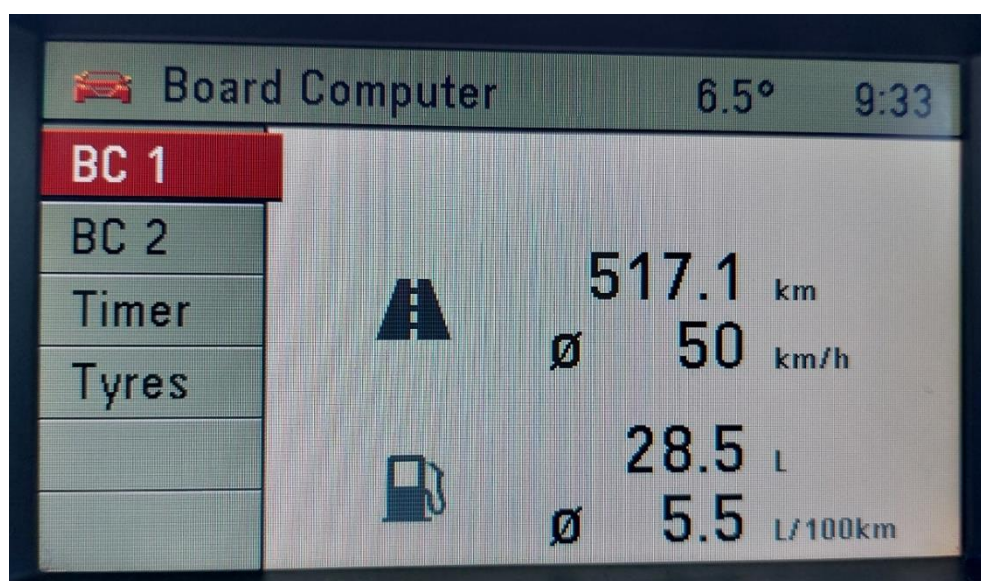
Ovim izračunom postavljena je referentna vrijednost s kojom se uspoređuju izračuni u idućim slučajevima mjerenja. Ujedno usporedbom ova dva rezultata se može zaključiti kako putno računalo u automobilu ima grešku približno 4,6 posto.

$$\left(1 - \frac{5,8}{6,08}\right) \cdot 100 = 4,605 \approx 4,6 \% \quad (8)$$

4.3.3. Potrošnja pri tlaku višem od zadanog

U ovoj fazi mjerenja tlak u gumama je iznosio 2,7 bara u prednjim i 2,5 bara u stražnjim gumama. Na listu priručnika za vozilo ovaj tlak se naziva ECO postavka koja navodno služi za postizanje najniže moguće potrošnje goriva, što je testirano u ovom poglavlju.

Temperatura zraka tijekom mjerenja je iznosila između 2,5°C i 11°C. Nakon 517,1 prijeđena kilometra zabilježena su slijedeća mjerenja:



Slika 36. Podaci putnog računala o potrošnji goriva pri tlaku višem od zadanog

Na slici 36. vidljivo je da je putno računalo nakon 517,1 prijeđena kilometra izmjerilo da je potrošeno 28,5 litara dizela. Prosječna potrošnja prema ovim podacima iznosi 5,5 litara na 100 kilometara.



Slika 37. Račun za gorivo potrošeno pri tlaku višem od zadanog

Nakon dolijevanja goriva, ustanovljeno je da je potrošeno 29,68 litara (slika 37.), što je 1,18 litara više od podataka s putnog računala. Uvrštavanjem vrijednosti u formulu dobivamo sljedeće:

$$\frac{29,68 \text{ L}}{517,1 \text{ km}} \cdot 100 = 5,7397 \approx 5,74 \text{ L/100km} \quad (9)$$

Usporedbom ova dva rezultata se može zaključiti kako putno računalo u ovom slučaju ima grešku približno 4,2 posto.

$$\left(1 - \frac{5,5}{5,74}\right) \cdot 100 = 4,18 \approx 4,2 \% \quad (10)$$

4.3.4. Potrošnja pri tlaku nižem od zadanog

U ovoj fazi mjerenja tlak u gumama je iznosio 1,9 bara u prednjim i 1,8 bara u stražnjim gumama. Temperatura zraka tijekom mjerenja je iznosila između -4°C i 10°C. Nakon 511,7 prijeđena kilometara zabilježena su slijedeća mjerenja:



Slika 38. Podaci putnog računala o potrošnji goriva pri tlaku višem od zadanog

Na slici 38. vidljivo je da je putno računalo nakon 511,7 prijeđenih kilometara izmjerilo da je potrošeno 30,5 litara dizela. Prosječna potrošnja prema ovim podacima iznosi 6 litara na 100 kilometara.

EURODIZEL	1,44	*	33,58 L	=	74 (25,0)	P5
						48,36

Slika 39. Račun za gorivo potrošeno pri tlaku nižem od zadanog

Nakon dolijevanja goriva, ustanovljeno je da je potrošeno 33,58 litara (slika 39.), što je 3,08 litara više od podataka s putnog računala. Uvrštavanjem vrijednosti u formulu dobivamo sljedeće:

$$\frac{33,58 \text{ L}}{511,7 \text{ km}} \cdot 100 = 6,562 \approx 6,56 \text{ L}/100\text{km} \quad (11)$$

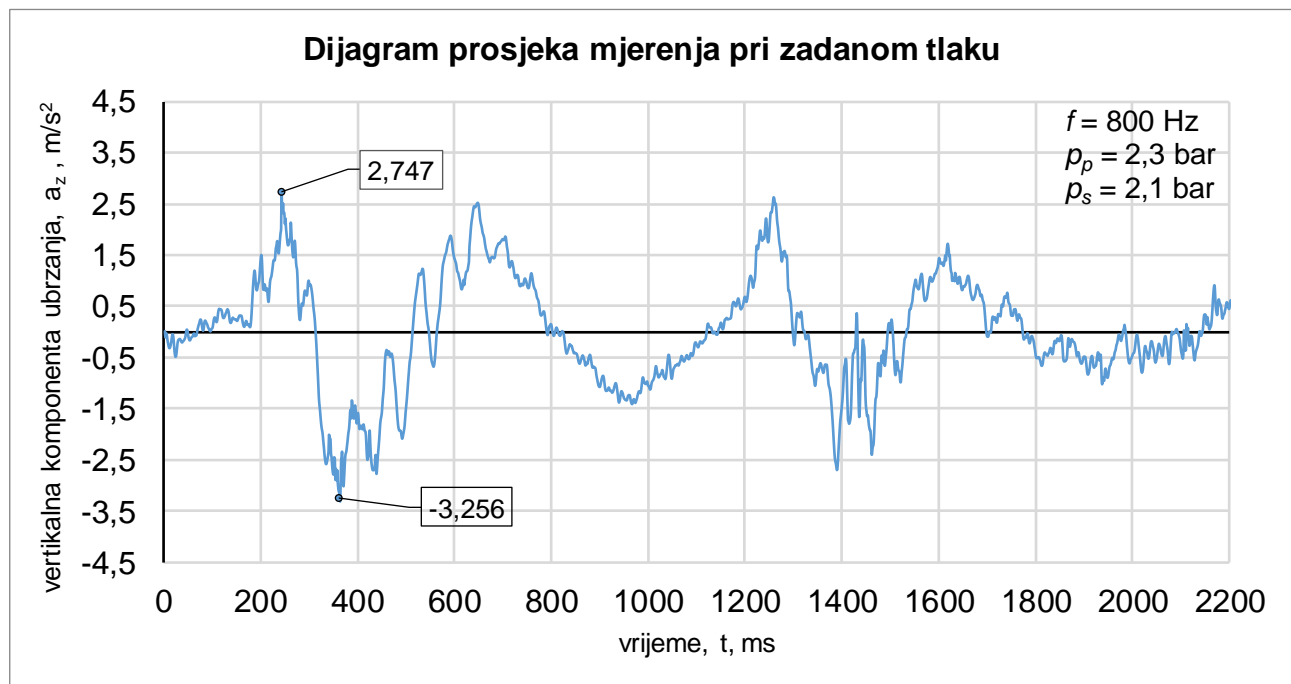
Usporedbom ova dva rezultata se može zaključiti kako putno računalo u ovom slučaju ima grešku približno 8,54 posto:

$$\left(1 - \frac{6}{6,56}\right) \cdot 100 = 8,5366 \approx 8,54 \% \quad (12)$$

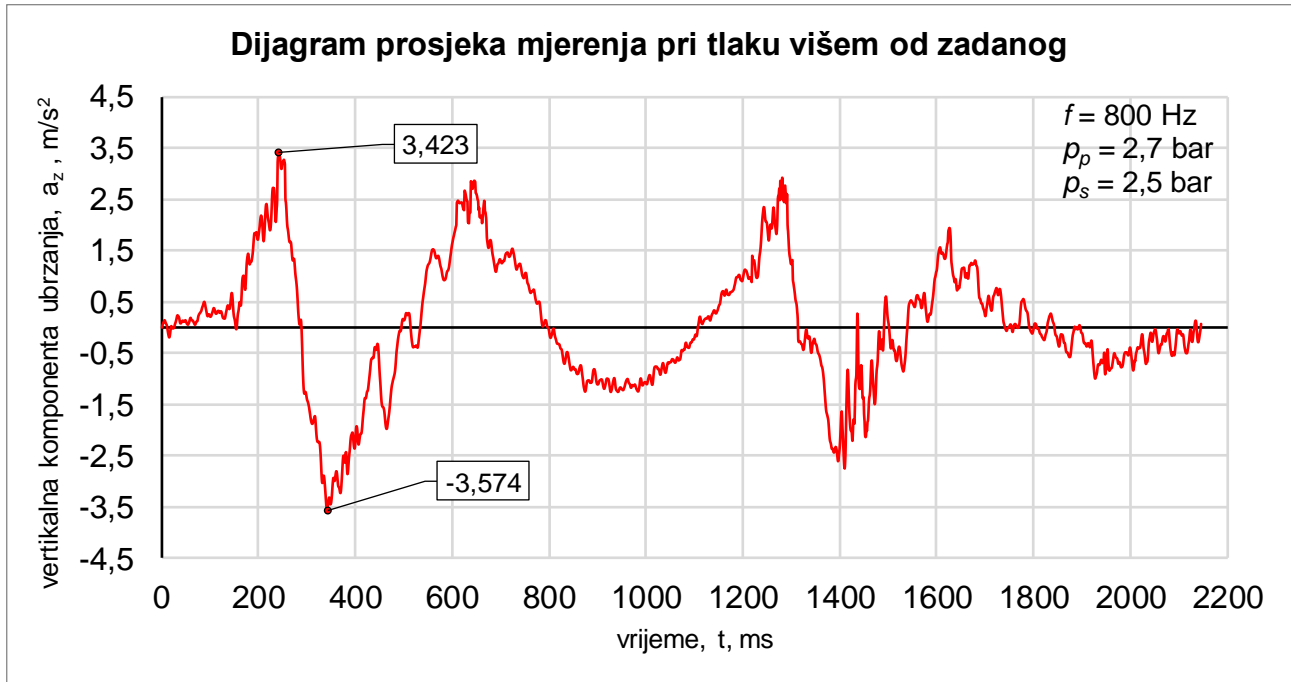
4.4. Analiza rezultata

4.4.1. Rezultati mjerenja vertikalnih ubrzanja

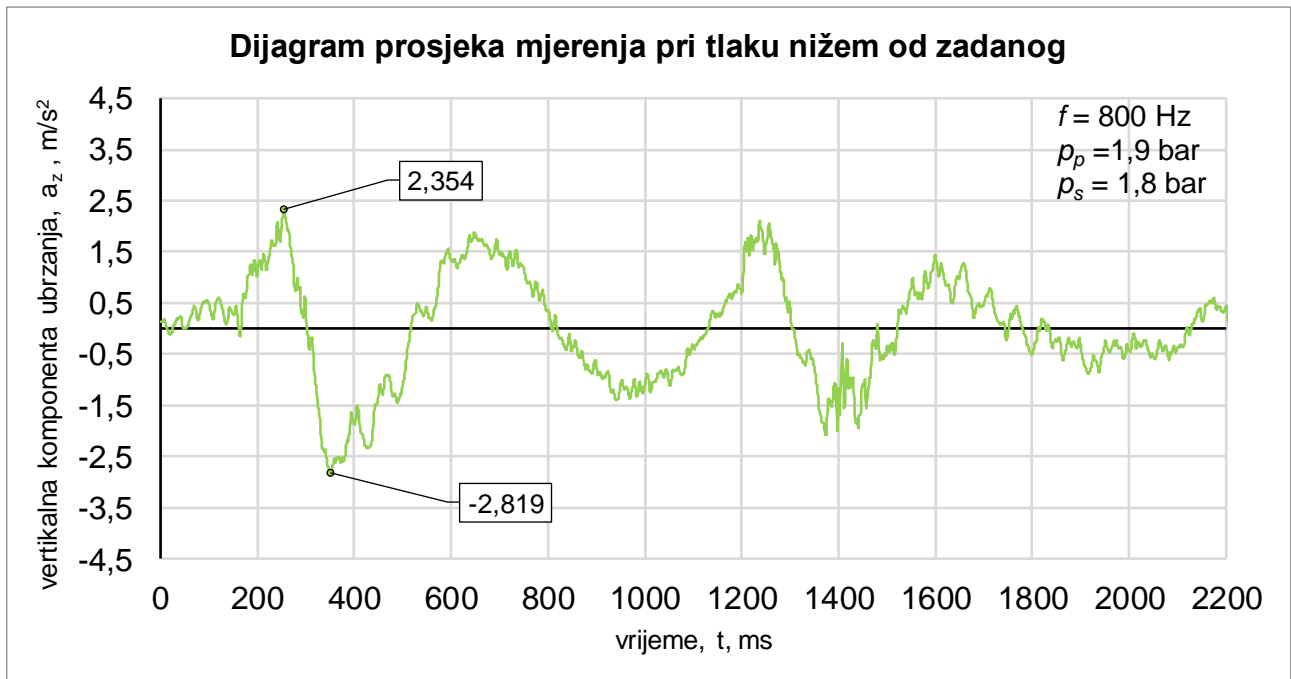
Slijedeći dijagrami su izdvojeni iz dijagrama prosjeka svih mjerenja (slika 32., str. 35.). Na svakom od dijagrama označene su maksimalne i minimalne vrijednosti prosjeka ubrzanja izmjerenih pri tom tlaku. U nastavku su te vrijednosti prikazane u tablici da bi ih lakše razumjeli.



Slika 40. Dijagram prosjeka mjerenja ubrzanja pri zadanom tlaku



Slika 41. Dijagram prosjeka mjerenja pri tlaku višem od zadanog



Slika 42. Dijagram prosjeka mjerenja pri tlaku nižem od zadanog

U tablicama 3. i 4. pobliže su prikazane vrijednosti iz prethodnih dijagrama i njihovo značenje. U stupcu "Ukupno ubrzanje" pribrojeno je ubrzanje sile teže od $9,81 \text{ m/s}^2$. U stupcu "Ubrzanje u G" prikazano je koliko je svaki od tih rezultata veći ili manji od normalne sile teže.

Što je vrijednost ubrzanja u G bliža vrijednosti 1, to su manja vertikalna ubrzanja karoserije vozila. U prijevodu manje je poskakivanje vozila i udobnost vožnje je bolja.

Tlak	Maksimalno ubrzanje [m/s^2]	Ukupno ubrzanje [m/s^2]	Ubrzanje u G
$p_p = 2,3 \text{ bar}$ $p_s = 2,1 \text{ bar}$	2,747	12,557	1,28 G
$p_p = 2,7 \text{ bar}$ $p_s = 2,5 \text{ bar}$	3,423	13,233	1,35 G
$p_p = 1,9 \text{ bar}$ $p_s = 1,8 \text{ bar}$	2,354	12,164	1,24 G

Tablica 3. Prikaz maksimalnih rezultata mjerenja ubrzanja

Tlak	Minimalno ubrzanje [m/s^2]	Ukupno ubrzanje [m/s^2]	Ubrzanje u G
$p_p = 2,3 \text{ bar}$ $p_s = 2,1 \text{ bar}$	-3,256	6,554	0,67 G
$p_p = 2,7 \text{ bar}$ $p_s = 2,5 \text{ bar}$	-3,574	6,236	0,64 G
$p_p = 1,9 \text{ bar}$ $p_s = 1,8 \text{ bar}$	-2,819	6,991	0,71 G

Tablica 4. Prikaz minimalnih rezultata mjerenja ubrzanja

4.4.2. Rezultati mjerenja potrošnje goriva

Tlak	Potrošnja [L/100 km]	Razlika u %	Potrošnja na uzorku od 10.000 km [L]	Razlika u potrošnji [L]	Cijena goriva u € (1L = 1,45 €)
$p_p = 2,3$ bar $p_s = 2,1$ bar	6.08	-	608	-	881,60
$p_p = 2,7$ bar $p_s = 2,5$ bar	5.74	- 5,6	574	- 34	832,30 (- 49,30)
$p_p = 1,9$ bar $p_s = 1,8$ bar	6,56	+ 7,9	656	+ 48	951,20 (+ 69,6)

Tablica 5. Rezultati mjerenja potrošnje goriva pri različitim tlakovima

Za usporedbu su u obzir uzete potrošnje dobivene izračunom potrošenog goriva i prijeđene udaljenosti. Kao referentna vrijednost koristi se potrošnja goriva koja je postignuta s proizvođačevim zadanim tlakom u gumama (prednje 2,3 bara, stražnje 2,1 bara), što iznosi 6,08 litara dizela na 100 km.

Potrošnja pri tlaku višem od zadanog, tzv. ECO postavka u priručniku vozila (prednje 2,7 bara, stražnje 2,5 bara), iznosila je 5,74 litre na 100 km, što je 5,6 posto manje od referentne vrijednosti, čime je dokazano da taj tlak u gumama doista snižava potrošnju.

Potrošnja pri tlaku manjem od zadanog (prednje 1,9 bara, stražnje 1,8 bara) iznosila je 6,56 litara na 100 km, što je čak 7,9 posto više od referentne vrijednosti.

Prema podacima Centra za vozila Hrvatske prosječni godišnje prijeđen put za osobne automobile u Hrvatskoj iznosi 11 817, 83 km. [8] Za potrebe ove analize korištena je razlika u potrošenom gorivu na uzorku od prijeđenih 10 000 km. Pri tlaku višem od zadanog, u ovom slučaju tzv. ECO postavkom, vozilo bi na putu od 10 000 km trošilo 34 litre dizela manje nego pri zadanom tlaku. S druge strane, pri nižem tlaku u gumama vozilo bi potrošilo 48 litara više nego pri zadanom tlaku. U zadnjem stupcu prikazana je cijena količine goriva potrošene u 10 000 km s različitim tlakovima. Cijena dizela u trenutku pisanja rada iznosi 1,45 €.

Ovim rezultatima dokazano je kolika je zapravo važnost tlaka u gumama prvenstveno u potrošnji goriva, a s time povezano i u emisijama ispušnih plinova koje svaki dan sve više utječu na živote svih nas.

4.4.3. Prednosti i nedostaci pojedinih tlakova

Viši tlak

Prednost:

- manja potrošnja goriva

Nedostaci:

- pogoršana udobnost vožnje,
- dugoročno veće trošenje sredine gaznog sloja gume,
- veće opterećenje ovjesa

Niži tlak

Prednost:

- poboljšana udobnost vožnje

Nedostaci:

- veća potrošnja goriva,
- dugoročno veće trošenje vanjskih rubova gaznog sloja,
- veća mogućnost oštećenja naplatka i gume.
- subjektivno lošije upravljanje vozilom uslijed veće deformacije gume u zavoju

Svatko od vozača donosi odluku hoće li se držati tvornički zadanih specifikacija tlaka, ali sveukupno gledano, optimalno rješenje je upravo tlak zadan od proizvođača.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu detaljno je analiziran utjecaj tlaka u gumama automobila na dinamiku vožnje, uzimajući u obzir različite parametre poput udobnosti, potrošnje goriva i sigurnosti. Prvo je proučen utjecaj ovjesa na vožnju, istražujući različite vrste ovjesa i njihovu ulogu u filtriranju neravnina na cesti. Nakon toga su opisani sastavni elementi kotača, dijelovi koji su kritični za osiguravanje stabilnosti, upravljivosti i prijanjanja vozila na cestu. Razumijevanje strukture i materijala koji čine naplatke i gume omogućava bolje razumijevanje njihovog utjecaja na performanse vozila u različitim uvjetima vožnje.

Provedeni su eksperimenti mjerenja vertikalnih ubrzanja pri naletu na neravninu pri različitim tlakovima u gumama, što je rezultiralo otkrićem da vožnja s većim tlakom u gumama rezultira manjom apsorpcijom neravnina te time smanjuje udobnost vožnje i trajnost ovjesa. Niži tlak doprinosi većoj udobnosti, ali kao nedostatak manjka zraka u gumi pojavljuje se veća opasnost po naplatak i gumu. Na temelju analize potrošnje goriva utvrđeno je da automobil troši više goriva pri tlaku manjem od preporučenog, dok s višim tlakom dolazi do smanjenja potrošnje.

Kao rezultat ovog istraživanja, zaključak je da je najisplativiji tlak u gumama onaj koji je preporučen od strane proizvođača vozila. Takav tlak omogućuje optimalnu ravnotežu između udobnosti, sigurnosti i potrošnje goriva, pružajući vozaču najbolje moguće iskustvo vožnje uz minimalne troškove.

LITERATURA

[1] Mikulić D.: *Motorna vozila: teorija kretanja i konstrukcija*, Veleučilište Velika Gorica, 2020.

[2] <https://www.pirelli.com/tires/en-us/car/driving-and-tire-tips/how-to-read/recommended-tire-pressure>

Pristup stranici 26.11.2023.

[3] <https://www.auto-data.net/en/opel-astra-h-gtc-1.9-cdti-150hp-2382>

Pristup stranici 1.12.2023.

[4] <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/tyres/612559?navigatingfrom=qr>

Pristup stranici 5.2.2024.

[5] <https://webshop.tokic.hr/krivi-tlak-ostecuje-gume/>

Pristup stranici 6.3.2024.

[6] <https://www.opel-infos.de/technik/getriebe/m32.html>

Pristup stranici 6.3.2024.

[7] <https://www.caranddriver.com/news/a15341871/tread-rightly-why-tire-pressure-matters/>

Pristup stranici 16.3.2024.

[8]

https://www.cvh.hr/media/5150/s10_prosjecno_godisnje_prijedeni_put_povv_za_2023.pdf

Pristup stranici 29.3.2024.