

KOTAČI AUTOMOBILA KAO ELEMENTI SIGURNOSTI VOŽNJE I ZAŠTITE OKOLIŠA

WHEELS OF A CAR AS ELEMENTS OF DRIVING SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Dinko Mikulić¹, Goran Košir², Željko Marušić³

¹Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica

²Centar za vozila Hrvatske, Zagreb

³Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Sažetak

U članku prikazujemo istraživanje svojstva pneumatika osobnih vozila s aspekta problematike sigurnosti vožnje i zaštite okoliša. Promjena bočne krutosti pneumatika i promjena dubine kanala gume može uzrokovati zanošenje vozila. Ako zamijenimo gume boljim gumama samo na prednjoj osovini, vozilo će se ponašati nesigurno za vožnju. Koristeći kočnice pojedinih kotača, postavljena je jednadžba kontrole stabilnosti vozila. Sigurnost vožnje je također povezana s pojavom *aquaplaninga* na mokroj cesti. Kako bi s tog gledišta procijenili stanje urbanih vozila proveli smo empirijsko istraživanje dubine kanala guma, te dali analizu i zaključke o sigurnosti vožnje. Ispitivanja potrošnje goriva upozoravaju na važnost stalnog nadzora tlaka zraka u gumama. Homologacija kotača novih modela vozila povezana je s motorom i prijenosnicima snage. Laboratorijskim i stvarnim testiranjem, određuje se potrošnja goriva i emisija ispušnih plinova. Možemo zaključiti da je moderni kotač uvjetovan sigurnošću vožnje od zanošenja vozila i zaštitom okoliša.

Ključne riječi: sigurnost vožnje, pneumatiki kotača, bočna krutost pneumatika, dubina kanala gume, ESC-sustav, potrošnja goriva, zaštita okoliša, homologacija kotača

Abstract

The paper presents a research of the characteristics of the personal vehicle tires from the point of view of the issues of driving safety and environmental protection.

Changing the cornering stiffness of the pneumatics and changing the depth of the tire may cause vehicles to drift. If we replace tires with better tires only on the front axle, the vehicle will behave insecurely in driving. Using the individual wheel brakes, a vehicle stability control equation is set. Driving safety is also associated with the emergence of *aquaplaning* on wet roads. In order to assess the condition of urban vehicles, we conducted an empirical research on the depth of the tire canal, and provided an analysis and conclusions on driving safety. Fuel consumption tests warn of the importance of constant pressure monitoring of tires. The wheel homologation is linked to the engine and transmissions, ie fuel consumption and exhaust emissions. Laboratory and real-time testing determines fuel consumption and exhaust emissions. We can conclude that the modern wheel is conditioned by the driving safety from vehicle drift as well as environmental protection.

Keywords: driving safety, wheel tires, cornering stiffness, tread depth, ESC system, fuel consumption, environmental protection, wheel homologation

1. Uvod

1. Introduction

Kotači vozila pripadaju opremi koja se odnosi na sigurnost uporabe vozila i zaštitu okoliša te podliježu homologaciji, sukladno regulativama EU [1, 2]. Proizvođači automobila ili dijelova za automobile, prije početka proizvodnje novog modela i prodaje moraju obaviti homologacijsko

ispitivanje kod neovisne ovlaštene ustanove. Motorna vozila na testnim poligonima prolaze različita dinamička testiranja. Među zahtjevnim testovima aktivne sigurnosti su testovi dvostruke promjene pravca i *Moose test*, test stabilnosti vozila u zavoju i slalom test [3]. Sukladno procedurama provjerava se stabilnost vozila, opterećenog i neopterećenog vozila, na suhoj i mokroj podlozi. Pritom, se dokazuju i svojstva pneumatika kotača. S boljim pneumaticima kotača, vozilo će biti stabilnije odnosno sigurnije za vožnju. Homologacijsko ispitivanje motornih vozila provodi se i u laboratorijima i u realnim uvjetima, sukladno WLTP protokolu [2]. Proizvođači vozila preporučuju vrstu kotača i pneumatike za svoje modele vozila, jer kotači utječu osim na sigurnost i na potrošnju goriva tj. emisiju štetnih plinova (CO₂ ili NO_x), te emisiju buke.

U korištenju vozila, česta je izmjena kako ljetnih tako i zimskih pneumatika na kotačima. Neadekvatna zamjena samo prednjih ili stražnjih kotača nije dobra. Ispravnim odabirom pneumatika osigurava se prijanjanje pneumatika i manja potrošnja goriva. Promjena bočne krutosti pneumatika i promjena dubine kanala gume može uzrokovati zanošenje vozila. Stoga, vozači i korisnici vozila moraju biti svjesni toga.

U članku prikazujemo istraživanje utjecaja bočne krutosti pneumatika i promjena dubine kanala gume na aktualnu problematiku suvremenih automobila kao doprinos povećanju sigurnosti vožnje i zaštite okoliša. Rezultati dosadašnjih istraživanja [4, 5, 6], rezultati vlastitih istraživanja [7] i raspoložive reference [3, 8] dopuštaju argumentiranu diskusiju i donošenje zaključaka.

2. Bočna krutost pneumatika

2. Cornering stiffness of the pneumatics

Pneumatici su uslijed opterećenja deformabilni cijelim svojim oblikom, a mjera toga je njihova krutost. Deformacije pneumatika utječu na prijenos horizontalnih i vertikalnih sila, odnosno na sigurnost upravljanja vozilom i potrošnju goriva. Relevantne deformacije pneumatika su: *radijalna*, *tangencijalna* i *bočna deformacija*. Radijalna krutost i tangencijalna krutost imaju bitan utjecaj na prijanjanje, vuču i otpor kotrljanja.

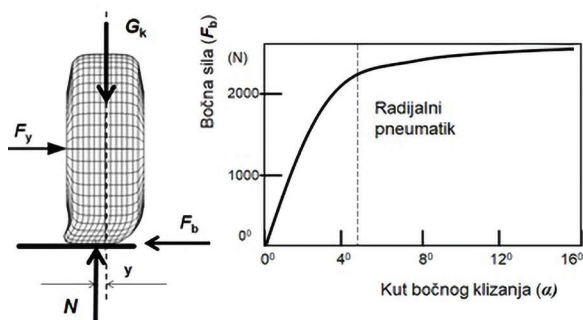
Bočna krutost ima dominantan utjecaj na upravljanje i stabilnost vozila u zavojima, što ćemo pokazati u radu.

Bočna krutost pneumatika je vrlo važna za održavanje sigurnosti vozila u upravljanja vozilom (slika 1). Bočna sila koju guma može primiti na kvalitetnoj podlozi ovisi o bočnoj krutosti pneumatika (C_a) i kutu klizanja (α). Povećanjem kuta bočnog klizanja (preko 5°) kontaktna površina gume prelazi iz područja prijanjanja u područje klizanja, što definira *kut bočnog klizanja* (*slip angle*). Za male vrijednosti kuta klizanja, bočna sila je funkcija kuta klizanja, pa vrijedi linearna jednakost [3, 8]:

$$F_b = C_a \alpha \quad [\text{N}]$$

C_a - bočna krutost pneumatika (N/rad)

α - kut bočnog klizanja (rad)



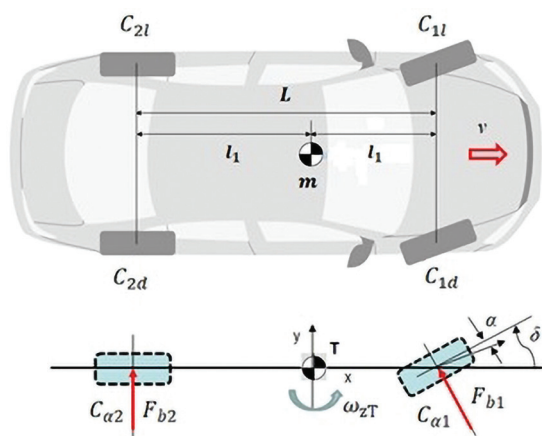
Slika 1 Bočna krutost pneumatika [3, str. 47]

Figure 1 Cornering stiffness of the pneumatics [3, p. 47]

2.1. Određivanje bočne krutosti pneumatika

2.1. Determination of cornering stiffness of the pneumatics

Kut bočnog klizanja je posljedica bočne elastičnosti pneumatika i djelovanja bočnih sila na vozilo u zavoju. Proračun potrebne krutosti pneumatika pružaju nam modeli stabilnosti vozila, izvedeni na temelju opterećenja kotača. Gume se tako optimiziraju za određeno vozilo. Stabilnost vozila s obzirom na krutost pneumatika, možemo promatrati pojednostavljeno (*bicikl model*, slika 2). Kako bi se izbjeglo klizanje uslijed djelovanja centrifugalne sile, određuju se krutosti pneumatika prednje osovine ($C_{11} = C_{1d}$, $C_{a1} = 2xC_{11}$) i krutosti pneumatika stražnje osovine ($C_{21} = C_{2d}$, $C_{a2} = 2xC_{21}$).



Slika 2 Modeliranje krutosti pneumatika u funkciji stabilnosti

Figure 2 Modeling stiffness of the pneumatics in stability function

3. Krutost pneumatika i stabilnost upravljanja vozilom

3. Pneumatic stiffness and stability of vehicle control

Elastičnost pneumatika dovodi do promjene središta zaokreta vozila, pri čemu se mijenja radijus okretanja vozila [3].

$$R_i = \frac{L}{\operatorname{tg}(\delta - \alpha_1) + \operatorname{tg}\alpha_2} \approx \frac{L}{\delta + \Delta\alpha} \quad (1)$$

Obzirom na jednakost bočne sile ($F_b = C_\alpha \alpha$) i utjecaja centrifugalne sile (F_c) na klizanje prednje i stražnje osovine, dobivamo kut zaokreta upravljačkih kotača:

$$\delta = \frac{L}{R_i} + \left(\frac{G_1}{C_{\alpha 1}} - \frac{G_2}{C_{\alpha 2}} \right) \frac{v^2}{R_i g} \quad (2)$$

Kut zakretanja kotača ovisi o brzini vozila u zavoju (v), radijusu zavoja (R_i), osovinskom razmaku (L), raspodjeli težine na kotače (G_i) i o bočnoj krutosti prednjih i stražnjih kotača (C_i). Praktično [4],

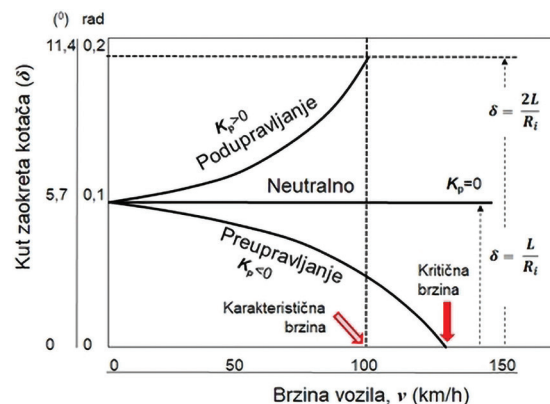
$$\delta = \frac{L}{R_i} + K_p \frac{v^2}{R_i g} \quad [rad] \quad (3)$$

K_p - koeficijent podupravljanja:

$$K_p = \frac{G_1}{C_{\alpha 1}} - \frac{G_2}{C_{\alpha 2}} \quad [rad] \quad (4)$$

Bočne krutosti pneumatika variraju obzirom na: tlak zraka u pneumatiku, normalno opterećenje, vuča (ili kočenje), bočne sile. Ovisno o vrijednostima koeficijenta podupravljanja ili odnosu između kuta klizanja prednjih i stražnjih

guma, ponašanje vozila može biti na razdiobi tri slučaja: neutralno upravljanje, podupravljanje (*understeer*), i preupravljanje (*oversteer*). Na temelju utjecaja razlike kutova klizanja prednje i stražnje osovine, možemo definirati tri slučaja ponašanja vozila, važna za procjenu sigurnosti upravljanja (slika 3).



Slika 3 Karakteristika ponašanja vozila

Figure 3 Vehicle behavior characteristics

Poželjno je da nam vozilo bude neutralno, međutim, podupravljivo vozilo je bolje nego preupravljivo. Karakteristika neutralnog upravljanja, za određeni radijus zavoja prikazana je vodoravnom linijom, tj. vozač zadržava isti položaj upravljača. Kod prebrze vožnje, karakteristika podupravljanja u istom zavoju prikazana je parabolom, da bi održao pravac kretanja vozač mora povećavati zakretanje upravljača. Da bi vozač kod preupravljanja održao pravac kretanja mora smanjivati kut zakretanja upravljača.

3.1. Kontrola podupravljivosti i preupravljivosti vozila

3.1. Control understeer and oversteer vehicles

Nije dobra niska bočna krutost ni prevelika bočna krutost pneumatika. Smatra se poželjnim da cestovno vozilo ima mali stupanj podupravljanja do određene razine bočnog ubrzanja, kao što je 0,4g [3]. Sa zamjenom pneumatika drugih karakteristika mijenja se ponašanje vozila. Primjerice, neka je masa automobila 2 tone i osovinsko rastojanje 2,6 m. Statički raspored težine na prednjoj osovini iznosi 54%, a na stražnjoj osovini je 46%.

Neka je bočna krutost svake od prednjih radijalnih guma: $C_{11} = C_{1d} = 40$ kN/rad, $C_{\alpha 1} = 2 \times 40$ kN/rad, a stražnjih guma $C_{21} = C_{2d} = 40$ kN/rad, $C_{\alpha 2} = 2 \times 40$ kN/rad, treba procijeniti ponašanje vozila zavoju. Ako prednje gume zamijenimo parom krućih radijalnih guma, od kojih svaka ima krutost u zavoju $C_{\alpha 1p} = 50$ kN/rad, a stražnje gume ostaju nepromijenjene, možemo procijeniti ponašanje vozila u zavoju.

Izračun koeficijenta podupravljanja vozila

$$K_p = \frac{G_1}{C_{\alpha 1}} - \frac{G_2}{C_{\alpha 2}} \quad [rad]$$

$$K_p = \frac{20000 \times 0,54}{2 \times 40000} - \frac{20000 \times 0,46}{2 \times 40000}$$

$$K_p = 0,02 \text{ rad } (1,14^0)$$

Vozilo je podupravljivo ($K_p > 0$), karakteristična brzina iznosi:

$$v_{un} = \sqrt{\frac{g L}{K_p}} = 36,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 129,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Izračun koeficijenta podupravljanja vozila s krućim pneumaticima na prednjoj osovini

$$K_p = \frac{G_1}{C_{\alpha 1p}} - \frac{G_2}{C_{\alpha 2}} \quad [rad]$$

$$K_p = \frac{20000 \times 0,54}{2 \times 50000} - \frac{20000 \times 0,46}{2 \times 40000}$$

$$K_p = -0,007 \text{ rad } (-4^0)$$

Vozilo je preupravljivo ($K_p < 0$), karakteristična brzina iznosi:

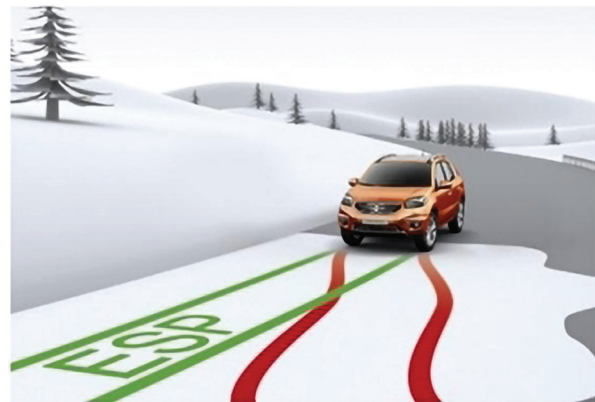
$$v_{ov} = \sqrt{\frac{g L}{-K_p}} = 60,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 219,4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Ako zamijenimo pneumatike krućim pneumaticima samo na prednjoj osovini, promatrano vozilo će se u zavoju na kvalitetnoj podlozi ponašati preupravljivo, odnosno nesigurno za vožnju. Zbog toga dolazi do prijevremene intervencije ESC (*Electronic Stability Control*) sustava stabilnosti vozila. Dakle, kotači na prednjoj i kotači na stražnjoj osovini moraju imati odgovarajuće pneumatike, pa će se vozilo ponašati neutralno ili podupravljivo, sigurnije za kretanje. Također, povećanjem osovinskog rastojanja (L) možemo doprinijeti stabilnosti vozila.

4. Kontrola stabilnosti vozila od zanošenja

4. Stability control of drift the vehicle

Proizvođači vozila određuju vrstu kotača za svoja vozila, jer kotači utječu na aktivnu sigurnost vozila. Primjerice bolji pneumatici, svojom krutošću neće izazvati prijevremenu intervenciju ESC sustava stabilnosti vozila. Stabilnosti vozila od zanošenja u zavoju ili pri naletu vozila na klizavu površinu, pridonosi ESC-sustav, koji održava pravac kretanja vozila u takvim kritičnim situacijama (slika 4).



Slika 4 Držanje pravca pomoću ESC-sustava (ESP, Bosch)

Figure 4 Keeping the direction using the ESC-system (ESP, Bosch)

ESC-sustav smanjuje prometne nezgode nastale kao posljedica klizanja i zanošenja odnosno izlijetanja do 80%. Stoga je donesena direktiva EZ 661/2009, o obvezi ugradnje ESC-sustava u sva nova vozila, od 1.11. 2011. Djelovanje ESC-a najviše dolazi do izražaja u zavoјima, uslijed neprilagođene brzine, nepredvidljive promjene površine kolnika (vlažnost, skliskost, zaprljanost) ili zbog iznenadnog izbjegavanja prepreke. Najopasnija situacija zanošenja vozila dolazi kod pojave *aquaplaninga*, kada vozilo pliva na sloju vode, pa ne postoji ni najmanje trenje kotača kojim bi se vozilo putem kočenja stabiliziralo.

4.1. Moment zaokreta vozila

4.1. Vehicle turning moment

ESC-sustav prepoznaje zanošenje vozila i vrši korekciju putanje. *Preupravljanje* zaustavljamo kočnom intervencijom prednjeg desnog kotača, a *podupravljanje* kočnom intervencijom lijevog stražnjeg kotača (slika 5).

Moment zaokreta vozila je:

$$M_z = J_{Tz} \dot{\omega}_{zT} = \Sigma M_T = F_{b1} \cos \delta l_1 - F_{b2} l_2 \quad (5)$$

J_{Tz} - moment tromosti vozila obzirom na težište (kgm²)

ω_{zT} - kutna brzina vozila (rad/s), ε_{zT} - kutno ubrzanje vozila (1/s²)

δ - srednji kut zaokreta upravljačkih kotača

Bočne sile ispod osovina – linearni odziv pneumatika

F_{b1} - bočna sila kotača prednje osovine,

$$F_{b1} = C_{\alpha 1} \alpha_1$$

F_{b2} - bočna sila kotača stražnje osovine,

$$F_{b2} = C_{\alpha 2} \alpha_2$$

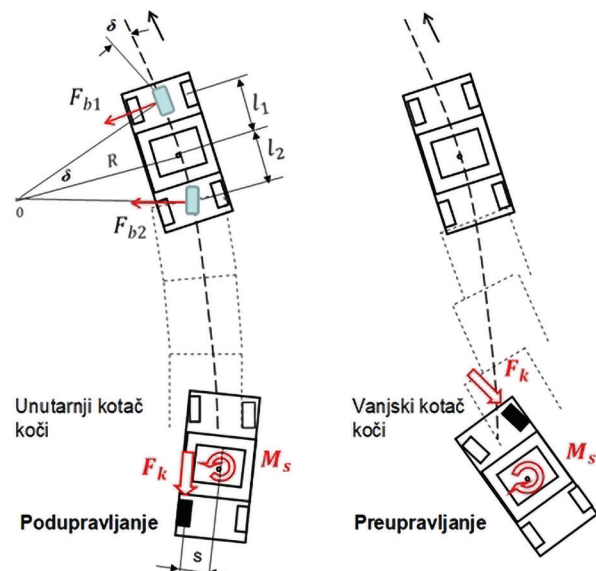
$C_{\alpha 1}$ - bočna krutost pneumatika prednje osovine

$C_{\alpha 2}$ - bočna krutost pneumatika stražnje osovine

$$C_{\alpha 1} \approx C_{\alpha 2} \approx \text{const.}$$

α_1 - kut bočnog klizanja pneumatika prednje osovine

α_2 - kut bočnog klizanja pneumatika stražnje osovine



Slika 5 Automatska korekcija zanošenja vozila

Figure 5 Automatic correction of drift vehicle

Možemo zaključiti da su ključni parametri vozila za djelovanje ESC-sustava: *masa vozila, moment tromosti vozila i bočna krutost pneumatika* ($m, J_{Tz}, C_{\alpha 1}, C_{\alpha 2}$) Pored fizičkih parametara konstrukcije vozila (m, J_{Tz}), bočna krutost pneumatika (C_{α}) ima veliku ulogu u održavanju stabilnosti vozila. Integracija druge generacije pneumatika u aktivni sustav stabilnosti vozila, uključuje TPMS nadzor tlaka i funkciju bočne sile ($F_b = C_{\alpha} \alpha$).

4.2. Korekcija pomoću kočnica

4.2. Correction using the brake

Pomoću senzora mjeri se kut zaokretanja upravljačkih kotača (α) i brzina kretanja vozila (v). Pritom se rješenjem jednadžbi kretanja određuju parametri kutne brzine i ubrzanja ω_z i a_b . Pomoću senzora mjere se stvarne vrijednosti parametara ω_{gyro} i a_b . Ukoliko se utvrde odstupanja izračunatih i izmjerenih vrijednosti ω_z i ω_{gyro} aktivira se kočenje određenog kotača na jednoj strani vozila. Slijedi korekcijski moment stabilizacije (M_s) koji utječe na ponašanje vozila.

Polazna jednadžba (5) sada postaje:

$$J_{Tz} \dot{\omega}_{zT} = F_{b1} \cos \delta l_1 - F_{b2} l_2 \pm M_s \quad (6)$$

Kočni moment stabilizacije M_s u odnosu na težište vozila:

$$M_s = F_k s \quad [\text{Nm}] \quad (7)$$

F_k - sila kočenja ispod kotača, čiji intenzitet određuje upravljačka jedinica ESC

s - pola traga kotača (2s)

Kada dolazi do zanošenja vozila, brzina rotacije vozila oko svoje osi postaje veća od brzine okretanja vozila u zavoju ($\omega_{gyro} > \omega_z$). To je trenutak kada sustav kontrole stabilnosti vozila pomoću žiro-senzora utvrđuje rotiranje vozila, nakon čega slijedi korekcija uporabom kočnica.

Nadzor rotacije vozila i pneumatika

Željeno ponašanje vozila/vozača:

- odabrani radijus okretanja vozila u zavoju (R)
- bočna karakteristika pneumatika (C_{α}, α)
- bočna rezultanta ubrzanja u težištu (a_b)
- izračun kutne brzine vozila

$$\omega_z^2 = a_b / R \quad (8)$$

Rotacija oko vertikalne osi, stvarno ponašanje vozila:

- tip zanošenja (podupravljanje ili preupravljanje)
- mjerenje kutne brzine vozila u zavoju (ω_{gyro})

Detekcija zanošenja: $\omega_{gyro} \geq \omega_z$ (9)

Mogućnosti korekcije vozila u okviru aktivnog podvozja:

- kočenje pojedinih kotača
- raspodjela pogonskog momenta između osovina
- pomoć servoupravljača
- pomoć amortizera.

Možemo zaključiti da upravljačka jedinica ESC-sustava mora prepoznati odstupanja od željenog pravca kretanja vozila i ciljano djelovati na kočnice, motor, prijenosnike snage, upravljač i druge uređaje kako bi zadržali putanju vozila.

5. Pokazatelji sigurnosti i zaštite okoliša

5. Indicators of safety and environmental protection

Od autogume se istovremeno zahtjeva povećanje prijanjanja i smanjenje otpora kotrljanja.










Razvoj suvremenih pneumatika rezultirao je određivanjem klasa efikasnosti prijanjanja na mokroj podlozi i klasa efikasnosti kotrljanja pneumatika (A, B, C, E, F).

5.1. Prijanjanje pneumatika na mokroj podlozi

5.1. Adhesion pneumatics on wet roads

Prijanjanje novog pneumatika osobnog vozila na asfaltu (μ) pada s dubinom vode na kolniku i brzini vozila. Primjerice, na sloju vode od 5 mm i brzini 60 km/h koeficijent prijanjanja iznosi oko 0,5 a pri brzini 100 km/h prijanjanje pada na vrijednost 0,1. Istrošenost gume, odnosno mala dubina kanala i mokr kolovoz povećavaju opasnost sklizanja vozila. Dodirna površina guma-podloga (%) i karakteristične dubine kanala (1,6 -8 mm) na mokroj podlozi s 3 mm sloja vode, pri različitim brzinama vozila, zorno prikazuje test otiska ljetnih pneumatika [6] (slika 6). Vidimo mali otisak gume kod većih brzina kretanja, a prema tome i nedovoljna sigurnost upravljanja i ugrožavanje prometa na mokroj podlozi.

Stoga, nije preporučljivo gume trošiti do najniže dubine kanala 1,6 mm, jer na mokrim površinama put kočenja može biti dvostruko duži nego kod nove gume ili pojava *aquaplaninga*. Kako bi se osigurala najbolja guma za dobro prijanjanje na mokroj cesti, obzirom na istrošenost kanala gaznog sloja i pad prijanjanja s dubinom sloja vode i brzini kretanja, ljetne gume bi trebale zamijeniti već kod dubine kanala od 3 mm, a zimske gume kod 4 mm.

Dubina kanala	8 mm	4 mm	1,6 mm
Brzina vozila			
5 km/h	 otisak 100%	 otisak 100%	 otisak 100%
75 km/h	 otisak 74%	 otisak 58%	 otisak 16%
125 km/h	 otisak 47%	 otisak 11%	 otisak 6%

Slika 6 Otisak pneumatika na mokroj podlozi (3 mm vode) [6, str. 2]

Figure 6 The contact area of pneumatic on wet surfaces (3 mm water) [6, p. 2]

5.2. Istraživanje stanja dubine kanala pneumatika

5.2. Research of the state of channel depth pneumatics

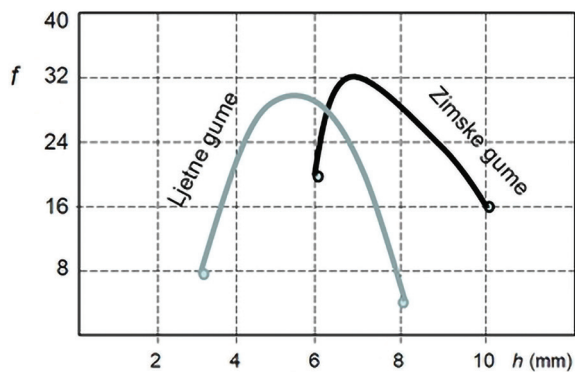
Nominalna puna dubina kanala ljetnih guma iznosi do 8 mm, a zimskih guma do 10 mm. Kanali su opremljeni indikatorima istrošenosti (TWI - Tread Wear Indicator), koji određuju najmanju dopuštenu dubinu kanala od 1,6 mm. Iako guma s tom dubinom kanala zadovoljava zakonski propis korištenja, preporučena minimalna dubina kanala od strane proizvođača [5], iznosi 3 mm. Brza vožnja na mokroj podlozi s malom dubinom kanala, zbog nemogućnosti izbacivanja vode može uzrokovati pojavu *aquaplaninga*, što dovodi do „plivanja kotača“ i gubitka stabilnosti vozila.

Radi procjene stabilnosti vozila na temelju stanja dubine kanala pneumatika, proveli smo empirijsko istraživanje na području grada Velika Gorica [7]. Tijekom obavljanja tehničkog pregleda vozila u stanici za tehnički pregled vozila u Velikoj Gorici, mjerena je stvarna dubina kanala pneumatika.

Promatrali smo uzorak 30 automobila B segmenta u ljetnom periodu s ljetnim gumama i 30 automobila u zimskom periodu sa zimskim gumama. Reprezentantni uzorak 120 ljetnih pneumatika i 120 zimskih pneumatika ocijenili smo dovoljno statistički relevantnim za procjenu stanja. Rezultati obrade podataka prikazani su poligonom raspodjele frekvencija za promatrani interval dubine kanala (slika 7).

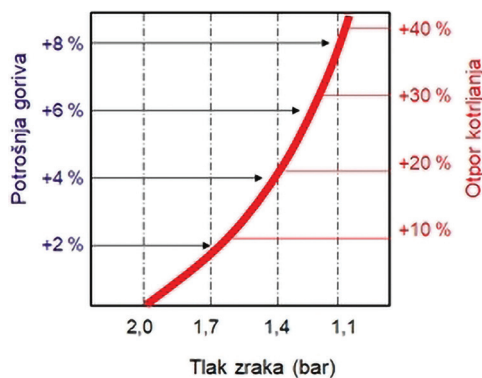
Možemo konstatirati sljedeće stanje:

- dubina kanala ljetnih guma iznosi od 3 do 8 mm, a prosječna vrijednost dubine kanala iznosi 5,30 mm.
- dubina kanala zimskih guma iznosi od 6 do 10 mm, a prosječna vrijednost dubine kanala iznosi 7,86 mm.
- kako kod ljetnih tako i kod zimskih pneumatika (2-3 bara), izmjereni tlak između kotača pojedinog kotača je bio unutar 0,1 bara, što se može smatrati neutjecajnim na istraživanje.



Slika 7 Dubina kanala pneumatika (h) i frekvencija broja kotača (f)

Figure 7 Tread depth pneumatics and frequency of wheel numbe (f)



Slika 8 Promjena tlaka zraka u pneumatiku i potrošnja goriva [5, str. 23]

Figure 8 Changing the inflation pressure in the tire and fuel consumption [5, p. 23]

Na osnovi izmjerene dubine kanala, kod automobila na tehničkom pregledu, možemo zaključiti da su pneumatici vrlo dobri, koji bi se mogli poopćiti na populaciju urbanih vozila. Takvi pneumatici mogu ostvariti kvalitetno prijanjanje na mokroj podlozi, a prema tome i sigurnost kretanja i zaustavljanja vozila. Međutim, promatrajući razlike dubine kanala kotača po osovina vozila, kao i po stranama lijevo desno, mogu se uočiti pojedine znatne razlike, koje mogu utjecati na sigurnost kretanja:

- podjednaka dubina kanala kotača na obje osovine, ljeto/zima: 60% / 66%
- veća dubina kanala na kotačima prednje osovine, ljeto/zima: 20% / 13%
- veća dubina kanala na kotačima stražnje osovine, ljeto/zima: 14% / 11%
- razlika dubine kanala na bočnim kotačima iste osovine, ljeto/zima: 6% / 10%

Pod pretpostavkom korištenja kriterija tehničkih normativa efikasnosti kočnica, ispitivanih u statičkim uvjetima na valjcima, sukladno *Pravilniku o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama* (NN 85/2016), možemo s gledišta dubine kanala guma ocijeniti sigurnost svakog vozila. Posredni pokazatelj efikasnosti pneumatika može biti omjer $z = h_i / H$, koji treba biti veći od 50% (h_i – stvarne dubine kanala pneumatika određenog vozila, H – najveća dubina kanala pneumatika). Također, razlika između dubine kanala jednog i drugog kotača iste osovine, ne bi trebala biti veća od 25% u odnosu na veću dubinu. Rezultati mjerenja uzorka dubine kanala urbanih vozila nalaze se u okviru promatranih kriterija.

Bez preferiranja konačnih zaključaka, ne ulazeći u slučajni dolazak vozila na tehnički pregled, utvrdili smo malu razliku u dubini kanala tih kotača što omogućuje držanje pravca vozila na mokrom kolovozu, bez pojave *aquaplaninga*, koja isključuje intervenciju ESC - sustava. Stoga je sprječavanje pojave *aquaplaninga*, pomoću kontrole dubine kanala guma, najvažniji zadatak održavanja pneumatika.

5.3. Nadzor tlaka u pneumatiku i potrošnja goriva

5.3. *Tire pressure monitoring system and fuel consumption*

Ispitivanja potrošnje goriva i otpora kotrljanja kotača upozoravaju na važnost konstantnosti zraka u pneumatiku [5]. Kako pada tlak zraka u pneumatiku, rastu otpori kotrljanja i raste potrošnja goriva (slika 8). Padom tlaka za 30% potrošnja se povećava na 4%, a padom tlaka s propisanog 50% povećava potrošnju goriva do 8%. Međutim, povećanje brzine utječe na povećanje otpora kotrljanja pa je potrošnja goriva još veća, posebno pri brzinama iznad 100 km/h. Stoga su novi modeli vozila opremljeni sustavom automatskog nadzora tlaka (TPMS). Donošenjem EU regulative [11, 12], proizvođači novih modela vozila moraju dokazati stvarnu potrošnju goriva i dopušteni sadržaj emisije ispušnih plinova.

6. WLTP i RDE homologacija kotača

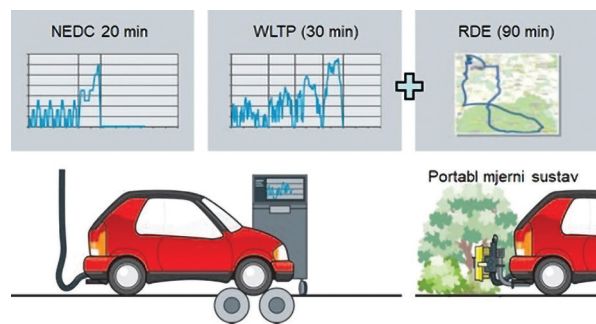
6. *WLTP and RDE wheel homologation*

Proizvođači vozila provode ispitivanje vozila, kojim se provjerava sukladnost s odredbama o homologaciji dijelova i oprema koje se odnose na *sigurnost uporabe vozila i zaštitu okoliša* [1]. Ciklus ispitivanja NEDC je zastario (1992). Uredba komisije (EU) 2016/427, donosi nove normative za globalno usklađeni postupak laboratorijskog testiranja za laka vozila, tzv. WLTP protokol (*Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure* [2]), koja je stupila na snagu 01.09.2018. Laboratorijsko WLTP ispitivanje vozila dopunjava se stvarnim testiranjem emisije ispušnih plinova (RDE - *Real Driving Emission*) [10] (slika 9).

6.1. Homologacija kotača i zaštita okoliša

6.1. *Wheel homologation and environmental protection*

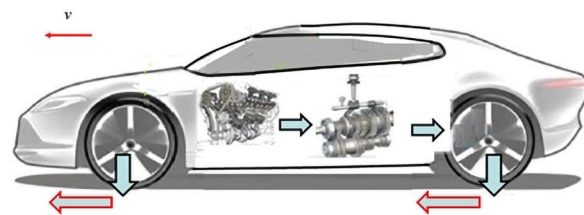
Homologacijsko ispitivanje je postupak kojim ovlaštena ustanova ispituje sukladnost vozila s odredbama o homologaciji dijelova i opreme, koje se odnosi na sigurnost uporabe vozila i zaštitu okoliša.



Slika 9 Laboratorijsko i stvarno ispitivanje ispušnih plinova, WLTP+RDE, [10, str. 9]

Figure 9 Laboratory and real testing of exhaust gas, WLTP+RDE, [10, p. 9]

Kako su kotači u sustavu sigurnosti uporabe vozila i potrošnje goriva, proizvođači vozila određuju jednu najbolju vrstu kotača/guma i dopuštene alternative kotača za svoju šasiju vozila, tj. *homologiraju kotače sukladno WLTP i RDE ciklusu*. To se dokazuje certifikatom proizvođača o sukladnosti (*COC - Certificate of Conformity*). Homologacija kotača se dakle povezuje s motorom i prijenosnicima snage, tj. s vrstom motora i mjenjača, odnosno podvozja vozila (broj šasije) (slika 10).



Slika 10 Homologacija kotača u sustavu pogona vozila

Figure 10 Wheel homologation in the vehicle drive system

Kako pogonski motor tako i vrsta transmisije ima značajnu ulogu na potrošnju goriva. Stupanj korisnosti mehaničke transmisije kod osobnih vozila iznosi između 90 i 95%. Vrtanja kotača odvija se na vratilu s kotrljajućim ležajima, što stvara trenje, tj. određene otpore ležaja. Međutim, kotači kao izvršni elementi pogona u kontaktu pneumatika s podlogom uzrokuju najveće trenje, odnosno gubitke na kotrljanje.

Proizvođač vozila homologira najbolju varijantu kotača za određeni model vozila, a njegova guma nosi oznaku *code proizvođača* na bočnoj strani gume. Primjerice, kod *Mercedes* vozila homologirana guma nosi kodnu oznaku M0, kod *Land Rovera* LR, kod *Porschea* N0, N1, N2. Homologirana guma kod *Audi* vozila nosi oznake

A0, A01, AOE (*run-flat*), a oznake za *Audi Q* su: R01, R02 i R03. Možemo zaključiti, bolji izbor za automobil su dakle pneumatice koji uz homologacijsku oznaku pneumatika europske države proizvođača guma (*E 4 broj odobrenja*) nose i oznaku proizvođača vozila (*Code*), budući da su izrađeni i testirani u skladu s performansama tog vozila.

7. Zaključak

7. Conclusion

Proizvođači vozila određuju vrstu kotača za svoja vozila, jer kotači utječu na aktivnu sigurnost vozila i potrošnju goriva tj. na emisiju štetnih plinova (CO₂, NO_x, ...), te emisije buke. Homologacija kotača je povezana s izborom motora i transmisije, tj. s vrstom motora i mjenjača.

Možemo zaključiti, kotači motornih vozila mogu se opremiti gumama, tako da su:

- ljetne ili zimske gume jednake na svim kotačima, bez obzira na pogon 4x2 i 4x4, dimenzije kotača (15", 16", 17", 18"), odnosno prema preporuci proizvođača (prednje i stražnje gume mogu biti različite širine).
- sa TMPS sustavom nadzora tlaka zraka koji osigurava održavanje tlaka pneumatika s obzirom na kotrljanje, prijanjanje i stvaranje buke,
- ravnomjerne istrošenosti, uravnoteženosti i starosti guma. Svojstva gume slabe starenjem, pa tako produžuju put kočenja i utječu na stabilnost upravljanja.
- preporučene dubine istrošenosti dubine kanala najmanje 3 mm, koja na mokroj podlozi pruža sigurno zaustavljanje vozila.

Na osnovi provjerene dubine kanala guma urbanih vozila, na tehničkom pregledu, možemo zaključiti da su pneumatice vrlo dobri, koji mogu izbjeći pojavu *aquaplaninga*. Pneumatice provjerene bočne krutosti i dubine kanala mogu ostvariti prijanjanje na mokroj podlozi, a prema tome i sigurnost kretanja i zaustavljanja vozila. To opravdava kontrolu originalnih ili zamjenskih kotača kao i istrošenost guma u stanicama za tehnički pregled vozila.

8. REFERENCE

8. REFERENCES

- [1] Direktiva 2007/46/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za homologaciju motornih vozila i njihovih prikolica te sustava, sastavnih dijelova i zasebnih tehničkih jedinica namijenjenih za takva vozila, Službeni list EU L263/1, 2007.
- [2] Uredba komisije EU 2017/1151, o izmjeni direktive 2007/46/EZ, uredbe komisije EZ 692/2008 i uredbe komisije EU 1230/2012, Službeni list Europske unije L 175/1, 2017.
- [3] Mikulić D.: Motorna vozila, teorija kretanja i konstrukcija, Veleučilište Velika Gorica, ISBN: 978-953-7716-72-1, 2016.
- [4] Longoria R. G.: Vehicle directional stability, The university of Texas, Austin, 2015. https://www.me.utexas.edu/~longoria/Vehicle_directional_stability.pdf
- [5] Continental Raifen, Tyre Basics - Passenger Car Tyres, Deutschland, 2013/14. <https://www.continental-tires.com/car>
- [6] Nokian Tires, Danger of Aquaplaning, <https://www.nokiantyres.com/innovation/safety/dangers-of-aquaplaning/siječanj/2019>.
- [7] Ispitivanje stanja guma u stanicama za tehnički pregled vozila, CVH-VVG, 2018-2019.
- [8] Jazar N.R.: Vehicle Dynamics, Theory and Application, e-ISBN 978-0-387-7424-1, NY 2008, Springer.
- [9] Bosch, Driving Stability Systems, Robert Bosch GmbH, Plochingen, 2005.
- [10] WLTP-Messverfahren, RDE (Real Driving Emissions), CIM 5235 - ŠKODA Technology innovations, 2018.

AUTORI · AUTHORS

Dinko Mikulić - nepromjenjena biografija
nalazi se u časopisu Polytechnic & Design
Vol. 5, No. 1, 2017.

Korespodencija

dinko.mikulic@vvg.hr

**Goran Košir**

Autor je znanstvenih i
stručnih radova iz područja
motornih vozila, objavljenih u
domaćim i stranim časopisima
(CROSBİ). Diplomirao je
na Fakultetu strojarstva i

brodogradnje, na Fakultetu prometnih znanosti
je poslijediplomskom doktorskom studiju polje
Tehnologija prometa i transport. Na Veleučilištu
Velika Gorica je asistent na predmetu: Ispitivanje
motornih vozila

Korespodencija

goran.kosir@vvg.hr

Željko Marušić - nepromjenjena biografija
nalazi se u časopisu Polytechnic & Design
Vol. 5, No. 1, 2017.

Korespodencija

zeljko.marusic@fpz.hr