

SERBIATRIB`07
10th International Conference on Tribology
and
WORKSHOP`07
Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge

**PRILOG ISTRAŽIVANJU PROBLEMA KONTAKTA
PNEUMATIKA I KOLOVOZA**

Dr Dušan Stamenković, van.prof. Mašinski fakultet Niš, Srbija
Dr Miroslav Đurđanović, red. prof. Mašinski fakultet Niš, Srbija
Milan Nikolić, dipl. maš. inž. Ved X-Ray AD Niš, Srbija

Apstrakt:

Trenje predstavlja glavni mehanizam za generisanje pogonske sile pokretanja i ubrzavanja vozila, kao i sila pri skretanju i kočenju. Zato je veoma važno da se tačno odredi veličina i pravac delovanja sile trenja između pneumatika i puta. Novi sistemi za povećanje bezbednosti u drumskom saobraćaju, kao što su ABS i sistem kontrole vuče tj. protivklizne zaštite, zasnivaju se upravo na poznavanju karakteristika trenja između pneumatika i puta. Pokazalo se da je u ovom slučaju modeliranje procesa trenja konceptijski najpodesniji pristup pa su poslednjih godina istraživanja u tom pravcu postala vrlo intenzivna. U okviru Evropskog istraživačkog projekta interakcije pneumatika i puta (VERT) vršena su mnogobrojna merenja radi određivanja parametara koji utiču na trenje između pneumatika i puta. Eksperimentalno je utvrđeno da su najvažniji faktori: brzina vozila, normalno opterećenje točka, dubina šare pneumatika, debljina vodenog filma, mikro i makro tekstura puta. Pored ovog projekta u radu su prikazani i drugi projekti u kojima je istraživano trenje između pneumatika i kolovoza. Bez obzira što je trenje stohastičke prirode, a tačni modeli interakcije pneumatika i puta teško se mogu opisati analitičkim putem, rezultati ovih istraživanja omogućavaju da se procesom trenja upravlja u značajnoj meri i tako postignu maksimalni efekti u pokretanju, kočenju i skretanju vozila.

Ključne reči: Trenje, modeli trenja, pneumatik-kolovoz

1. UVOD

Pokretanje, kretanje, upravljanje i/ili zaustavljanje vozila realizuje se isključivo zahvaljujući trenju koje se javlja na kontaktu pneumatika i puta. Samim tim poznavanje karakteristika ovog procesa ima najveću važnost sa aspekta bezbednosti saobraćaja, ekonomičnosti, itd.

Novi sistemi za povećanje bezbednosti, kao što su sistem kontrole pogona i ABS, upravo se zasnivaju na poznavanju karakteristika trenja. Sistem kontrole pogona umanjuje ili eliminiše prekomerno proklizavanje prilikom ubrzanja vozila, čime se povećava mogućnost manevrisanja vozilom, što je važno sa stanovišta

bezbednosti i upravljivosti. Istovremeno ovaj sistem omogućava prenos maksimalnog obrtnog momenta na osovinu točka prilikom ubrzanja. Na sličan način ABS sprečava blokiranje točkova i klizanje prilikom kočenja, što povećava lateralnu stabilnost i upravljivost, naročito na mokrim i zaleđenim putevima. U oba slučaja, prenos ugaonog ubrzanja ili usporenja točka i longitudinalno ubrzanje ili usporenje realizuje se posredstvom frikcije. Zbog toga poznavanje karakteristika trenja između pneumatika i puta ima važnu ulogu u projektovanju ABS-a i sistema za kontrolu pogona.

Međutim, pošto taj proces za sada ne može da se opiše analitičkim putem, modeliranje trenja između pneumatika i puta poslednjih godina postalo je oblast intenzivnih istraživanja.

Najvažniji zadatak koji se pri tome postavlja, jeste - što tačnije određivanje, ali i predviđanje ponašanja frikcionih karakteristika na kontaktu pneumatik-kolovoz, i to u realnim uslovima.

2. STATIČKI I DINAMIČKI MODELI

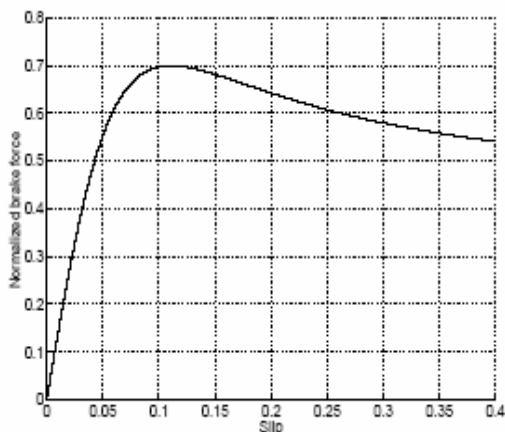
Trenje se do sada tradicionalno modeliralo primenom statičkih modela, koji mogu biti u fizičkom obliku (tzv. "vlaknasti model") ili u empirijskom obliku ("magična formula"). Jedan od najpoznatijih statičkih modela jeste Pačejkin model, poznat kao „magična formula“. Ovaj model pokazuje dobro slaganje sa eksperimentalnim podacima u uslovima konstantne linearne i ugaone brzine, zbog čega se dosta koristi.

Pačejkin model, ili magična formula, ima sledeći oblik [1]:

$$F(S) = c_1 \sin(c_2 \arctan(c_3 s - c_4 (c_3 s - \arctan(c_3 s))))$$

gde je $F(s)$ – sila trenja u zavisnosti od puta (klizanja) s , dok su c_i - parametri koji karakterišu model i određuju se merenjem. Njihovim variranjem, dobijaju se karakteristike za druge pneumatike i druge uslove puta. Na slici 1 je prikazana zavisnost trenja pneumatika i klizanja za vrednosti parametara $c_1=0.7$, $c_2=2.5$, $c_3=8$ i $c_4=1$.

Magična formula je empirijski model, a njena primena zahteva poznavanje parametara koji se određuju eksperimentalnim merenjem. Takva merenja, međutim, zahtevaju sofisticiranu mernu tehniku i iziskuju visoke troškove.



Slika 1. Kriva trenja dobijena „magičnom formulom“ [1]

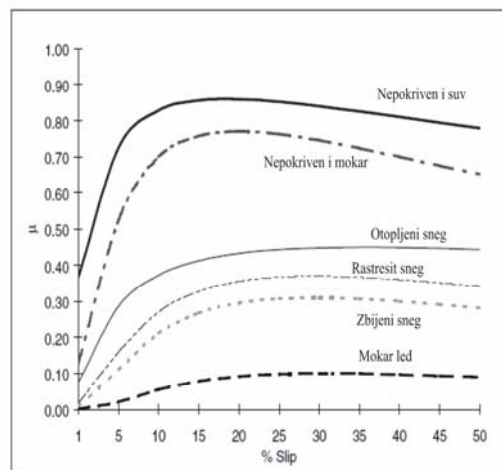
Magična formula takođe nije pogodna za proučavanje delovanja snega i leda na frikcionu

performanse vozila, niti promene u trenju površina koje se javljaju zbog promene uslova klizanja pneumatik-put.

Primenom dinamičkih modela čine se pokušaji da se opiše ponašanje sila na kontaktu u uslovima promenljive brzine, što je blisko realnim uslovima. Međutim, takvim pristupom dobijaju se diferencijalne jednačine za čije rešavanje je neophodno poznavanje brojnih početnih i graničnih uslova, a njih nije moguće tačno definisati. Zbog toga, za sada, ne postoji ni dinamički a ni statički model kojim može egzaktno da se opiše proces trenja između pneumatika i puta pa se u istraživanjima više pažnje obraća modelima koji mogu da daju zadovoljavajuće rezultate za tipične slučajeve i uslove kontakta.

3. MODEL TRENJA RADO

Mogućnost upotrebe RADO modela za predviđanje uslova površine puta u zimskom periodu zasniva se na rezultatima istraživanja u Norveškoj. U istraživanjima se došlo do saznanja da postoje velika odstupanja parametara trenja, snegom i ledom pokrivenih površina, zbog promenljivog stanja površina. Vrednosti maksimuma koeficijenta trenja i brzine klizanja mogu da se iskoriste za poređenje uslova vožnje na putevima pod snegom i ledom, sa uslovima suvog i mokrog puta. Takođe je utvrđeno da dobijene vrednosti koeficijenta trenja mogu da se primene u cilju kontrole upotrebe soli na putevima [2].



Slika 2. Vrednosti koeficijenta trenja za različite uslove puta [2]

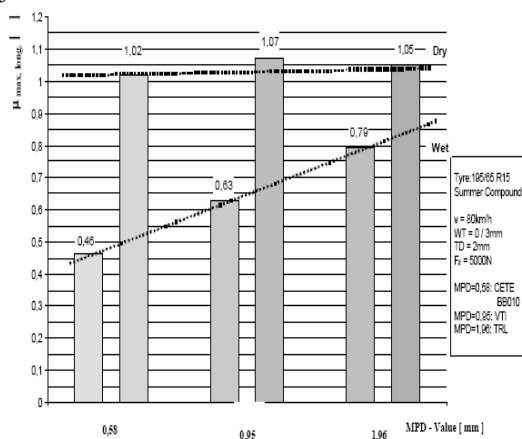
Na slici 2 se vidi da trenje kod mokrog puta opada brže sa procentom klizanja, što je u vezi sa brzinom vozila. Takođe se uočava i to da se

maksimalni koeficijent trenja u zavisnosti od klizanja javlja na 18% kod suvog, 20% kod mokrog puta i oko 30% u zimskim uslovima. Važno obeležje RADO modela jeste mogućnost simulacije ABS-a. Naime, ABS popušta kočenje u cilju održavanja maksimalne vrednosti koeficijenta trenja pri kočenju. Kada je ABS u upotrebi, trenje prati RADO model sve dok se predviđeni procenat klizanja ne postigne i brzina vozila smanji, što je važno u realnim zimskim uslovima vožnje.

4. SISTEM ZA PREDVIĐANJE TRENJA - MODEL TRENJA U PROJEKTU VERT

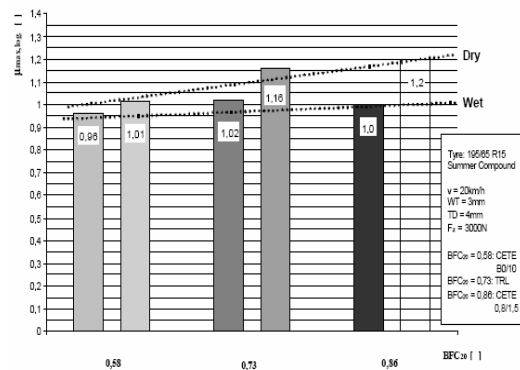
U cilju pravovremene i efikasne pomoći vozaču u toku vožnje, javila se potreba za razvojem odgovarajućeg sistema za predviđanje trenja. U tom cilju u okviru Evropskog istraživačkog projekta interakcije pneumatika i puta (VERT), najpre su vršena mnogobrojna merenja radi definisanja parametara koji utiču na trenje između pneumatika i puta. Kako je utvrđeno, u ovom slučaju najveću važnost imaju sledeći faktori: makro i mikro tekstura puta, dubina šare pneumatika, debljina vodenog filma, brzina vozila, normalno opterećenje točka [3].

U toku realizacije projekta, merenja su vršena sa različitim teksturama i sa varijacijama drugih uticajnih parametara. Utvrđeno je da na mokrim putevima makrotekstura ima veliki uticaj na vrednost trenja, slika 3. Poređenje između dubine profila makroteksture od 0,58 mm i 1,96 mm pokazuje da se vrednost trenja na mokrim putevima može da poveća i do 70%. To je važan podatak koji dokazuje da hrapavost puta i sposobnost pneumatika za odvođenje vode mogu da imaju veliki uticaj na veličinu trenja.



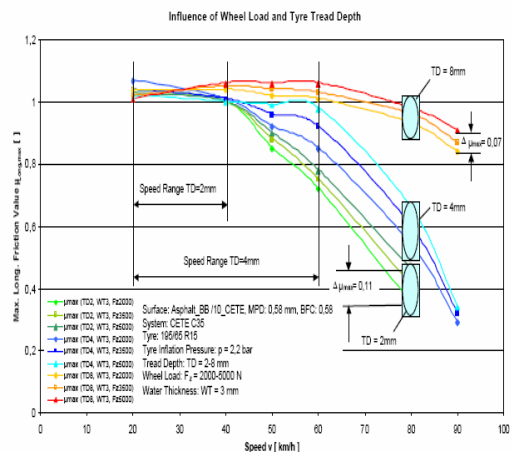
Slika 3. Uticaj makroteksture na koeficijent trenja [3]

Uticaj mikroteksture, tj.oštine agregata, je iskazana preko vrednosti faktora BFC20, slika 4. Kako se vidi, na mokrom putu sa debljinom vode od 3mm pri brzini od 20 km/h i izabranim pneumatikom sa šarom dubine od 4 mm, uticaj mikroteksture je beznačajan. Međutim, suprotno od mokrog puta, uticaj mikroteksture na trenje kod suvog puta je dosta izraženo. Maksimalne vrednosti trenja u longitudinalnom pravcu mogu da rastu i do 25%. Uticaj mikroteksture na koeficijent trenja pokazan je na slici 4.



Slika 4. Uticaj mikroteksture na koeficijent trenja [3]

Slobodan parametar u svim merenjima bila je brzina. Ostali uticajni parametri, kao što su debljina vodenog filma i opterećenje, spadaju i tretirani su kao tzv. spoljni. Međutim, kako je utvrđeno, kombinacijom različitih vrednosti brzine i ostalih faktora može doći do velikog opadanja vrednosti trenja. Tako postignuta brzina nazivana je „kritičnom“ brzinom.



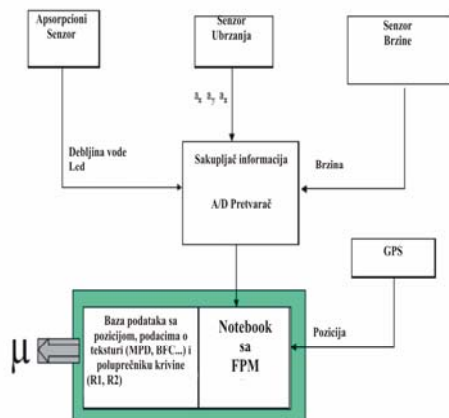
Slika 5. Uticaj opterećenja i dubine šare na koeficijent trenja [3]

Uticaj dubine šare na vrednosti trenja prikazan je na slici 5. Kritična brzina pri debljini vodenog filma od 3 mm počinje od 40 km/h za istrošen pneumatik, a 90 km/h za nov. Na slici 5.

takođe je prikazan i uticaj opterećenja točka. Kako se vidi, povećanje opterećenja sa 2000 N na 5000 N pri istoj debljini vode, povećava vrednost trenja za 20%. Ovo se objašnjava povećanim izbacivanjem vode na kontaktu pneumatik-put i redukcijom hidrodinamičkih sila u vertikalnom pravcu.

Međutim, kod suvog puta efekti su obrnuti: povećanje dubine profila i opterećenja smanjuje vrednost trenja. Ova pojava se tumači nehomogenim rasporedom pritiska i napona smicanja na kontaktu pneumatika, što je uzrokovano njegovom deformacijom.

Posle definisanja uticajnih faktora, sledeći korak u ovom projektu bio je kvantifikacija glavnih uticajnih parametara na vrednosti koeficijenta trenja. Za izradu multidimenzionalne mape korišćen je statistički računarski program, a za proračun maksimalnog koeficijenta trenja - poluempirijski model pogodan za upotrebu u automobilu. Taj model uzima u obzir uticaj mikrotekture, makrotekture, opterećenja točka, dubine šare pneumatika, debljine vode i brzine vozila.



Slika 6. Šematski prikaz sistema za predviđanje trenja razrađenog u projektu VERT [3]

Principijelna blok šema sistema za predviđanje trenja razvijenog u okviru VERT-a prikazana je na slici 6. Njegova buduća implementacija podrazumeva transfer podataka o trenutnim vrednostima trenja do sistema za dinamiku automobila i pomoć vozaču. Na taj način će vozač biti upozoren na nailazak opasnih situacija usled smanjivanja trenja [3].

Međutim, pored svojih dobrih strana sistem za predviđanje trenja ima i nedostatke. Na primer, za dobijanje informacija o trenutnim vrednostima trenja u longitudinalnom i lateralnom pravcu, potrebni parametri moraju da se mere odgovarajućim senzorima. Senzori se

sada postavljaju samo ispred desnog točka, i usvaja se da su isti i kod levog, što nije tačno; zatim, zbog osetljivosti ti senzori moraju uvek da budu apsolutno čisti, što je nemoguće u realnim uslovima, itd. Međutim, i pored nedostataka ovaj sistem je dokazan za letnje uslove, ali tek slede istraživanja za vrednosti brzina veće od 100km/h.

5. ZAKLJUČAK

Poznavanje parametara trenja između pneumatika i puta ima važnu ulogu u projektovanju ABS-a i sistema za kontrolu pogona. Pošto za sada ne može da se opiše analitičkim putem, modeliranje trenja na kontaktu pneumatik/puta poslednjih godina postalo je oblast intenzivnih istraživanja. Osnovni zadatak koji se pri tome postavlja, jeste što tačnije određivanje i predviđanje ponašanja frikcionih karakteristika. Na osnovu dobijenih rezultata i mogućnosti njihove primene u realnim uslovima, može se zaključiti da sistem za predviđanje trenja razvijen u okviru istraživačkog projekta VERT od svih aktuelnih modela pruža najveće mogućnosti za primenu u realnim uslovima.

LITERATURA:

- [1] Svendenius J., Wittenmark B.: Review of Wheel Modeling and Friction Estimation, Department of Automatic Control, Lund Institute of Tecnology 2003.
- [2] Nixon W., Wambold J., Decker R., Roosvelt D., Flintsch G., Al-Qadi I.,: Feasibility to using Friction, Indicators to Improve Winter, Maintenance Operations and Mobility, National Cooperative Highway Research Program, 2002.
- [3] Klempau F.: Development of a friction prediction system, 2nd International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction, Florence 2001.

[4] <http://www.insideracingtechnology.com/contentspg.htm>