

UTICAJ BOČNOG VETRA NA STABILNOST MOTORNIIH VOZILA Danijela Miloradović¹, Aleksandra Janković², Jasna Glišović³

Rezime: Upravljanje savremenim motornim vozilima aerodinamičkih linija i smanjene težine, zahteva veću koncentraciju i napor vozača zbog povećane osjetljivosti vozila na dejstvo poremećaja iz bočnog pravca. U radu je analiziran uticaj dejstva bočnog vetra na stabilnost vozila. Posmatran je ravanski model vozila sa dva traga u slučaju pravolinijskog kretanja vozila konstantnom brzinom. Kao veličine karakteristične za stabilnost vozila, izabrane su ugaona brzina zaokretanja vozila oko vertikalne težišne ose (ugaona brzina "plivanja") i bočno ubrzanje vozila. Njihove vremenske funkcije prikazane su u zavisnosti od brzine vozila, brzine strujanja vetra i ugla pod kojim vetar deluje u odnosu na podužnu osu vozila.
Cljučne reči: motorno vozilo, bočni vetar, stabilnost

INFLUENCE OF CROSSWIND ON STABILITY OF MOTOR VEHICLES

Abstract: Steering of modern motor vehicles having streamlined bodies and reduced weight demands greater concentration and effort of a driver due to increased sensitivity of vehicles to cross disturbances. The influence of crosswind on the stability of the vehicle is analyzed in the paper. A two-track areal model of the vehicle is observed in a case of constant velocity, straight forward driving. Angular velocity about vertical axis ("yawing") and lateral acceleration of the car body are chosen as characteristic values for the vehicle's stability. Their time functions are shown depending on vehicle's velocity, crosswind's velocity and the angle between crosswind's direction and longitudinal axis of the car body.
Key words: motor vehicle, crosswind, stability

1. UVOD

Upravljanje modernim putničkim vozilima izloženim pojačanom dejstvu bočnog vetra traži određeni stepen koncentracije koji dodatno opterećuje vozača. Vozač, u opštem slučaju, zaokreće točak upravljača na stranu suprotnu od smera dejstva bočnog vetra. Takva funkcija kompenzacije zaokretanjem točka upravljača izlaže vozača dodatnom naprezanju i, kao rezultat, javlja se zamor [1,2,3]. Zbog toga, smanjenje osjetljivosti vozila na bočni vetar ne samo da povećava udobnost vožnje, već, takođe, znatno doprinosi i povećanju bezbednosti vožnje.

U radu je analiziran uticaj bočnog vetra na stabilnost vozila. Razmatranje problema izvršeno je na ravanskom modelu vozila sa dva traga, za slučaj pravolinijskog kretanja vozila konstantnom brzinom. Kao veličine karakteristične za stabilnost vozila, izabrane su ugaona brzina zaokretanja vozila oko vertikalne težišne ose (ugaona brzina "plivanja") i bočno ubrzanje vozila. Njihove vremenske funkcije prikazane su u zavisnosti od brzine vozila, brzine strujanja vetra i ugla pod kojim vetar deluje u odnosu na podužnu osu vozila.

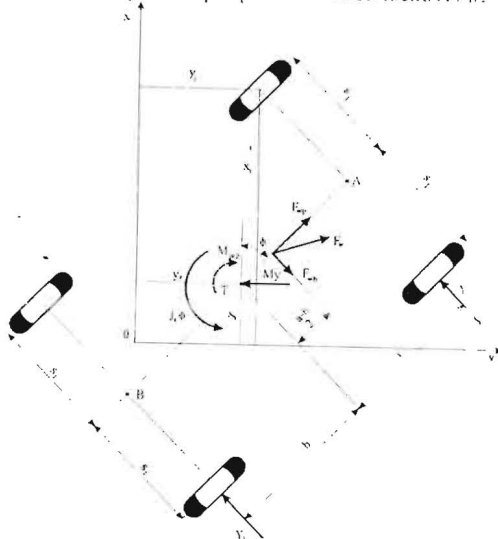
¹ Danijela Miloradović, asist.-pripr., Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija i Crna Gora, e-mail: nej@knez.uis.kg.ac.yu

² dr Aleksandra Janković, red. prof., Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija i Crna Gora, e-mail: alex@knez.uis.kg.ac.yu

³ mr Jasna Glišović, asistent, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija i Crna Gora, e-mail: jaca@knez.uis.kg.ac.yu

2. MODEL VOZILA

Za analizu uticaja bočnog vetra koristi se model vozila sa dva traga /3/ prikazan na slici 2.1 za koji važe pretpostavke da su točkovi /4/:



Slika 2.1 Model vozila sa dva traga

$$\begin{aligned} x_1 &= x + a + s_1\phi \\ y_1 &= y + a\phi - s_1 \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} x_3 &= x - b + s_2\phi \\ y_3 &= y - b\phi - s_2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

- postavljeni na okvir vozila koji se ne definiše,
- upravni na ravan tla i
- kotrljaju se u ravnima koje su paralelne sa podužnom osom vozila.

Posmatrano je pravolinijsko kretanje vozila po ravnom putu pod uticajem sile i momenta bočnog vetra, pri konstantnoj brzini vozila, $v = \text{const}$.

Podužna osa vozila zaklapa sa x osom referentnog nepokretnog koordinatnog sistema neki ugao ϕ .

Koordinate tačka dodira točkova sa tlom mogu se izraziti preko koordinata težišta vozila, x, y , ugla ϕ i geometrijskih veličina vozila: s_1, s_2 - polutragova prednjih i zadnjih točkova i a, b - rastojanja težišta od osa prednjeg i zadnjeg mosta. Pretpostavljajući da je ugao ϕ dovoljno mali, vršimo uobičajenu zamenu $\sin \phi \approx \text{tg} \phi \approx \phi$ i $\cos \phi \approx 1$, pa je:

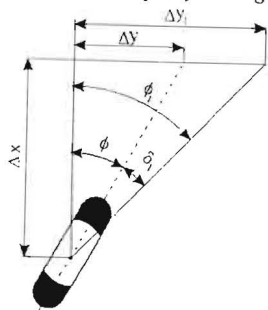
$$x_2 = x + a - s_1\phi \quad (2.2)$$

$$y_2 = y + a\phi + s_1 \quad (2.4)$$

$$x_4 = x - b - s_2\phi \quad (2.4)$$

$$y_4 = y - b\phi + s_2 \quad (2.4)$$

Na slici 2.2 prikazano je skretanje prednjeg levog točka. Za slučaj da u svakom momentu Δt imamo da je $\Delta y = \Delta x \text{tg} \phi$, kada $\Delta t \rightarrow 0$ imamo:



Slika 2.2 Skretanje prednjeg levog točka

$$dy = dx \text{tg} \phi \approx \phi dx \quad (2.5)$$

Sa sl. 2.2 takođe sledi izraz za ugao skretanja, δ_1 , prednjeg levog točka:

$$\delta_1 = \phi_1 - \phi = \frac{dy_1 - dy}{dx} = \frac{dy_1 - \phi dx}{v dt} \quad (2.6)$$

gde je v - brzina vozila u pravcu ose x .

Na osnovu jednačina (2.1) do (2.4) sledi:

$$\begin{aligned} dy_1 &= dy_2 = dy + ad\phi \\ dy_3 &= dy_4 = dy - bd\phi \end{aligned} \quad (2.7)$$

Koristeći jednačine (2.6) i (2.7), uz pretpostavku da su levi i desni točak jedne osovine simetrično opterećeni i jednakih konstruktivnih karakteristika, dolazi se do izraza za uglove skretanja točkova prednje i zadnje osovine:

$$\delta_1 = \delta_2 = \frac{dy + ad\phi - \phi dx}{v dt} = \frac{1}{v} \left(\frac{dy}{dt} + a \frac{d\phi}{dt} \right) - \phi \quad (2.8)$$

$$\delta_3 = \delta_4 = \frac{dy - bd\phi - \phi dx}{v dt} = \frac{1}{v} \left(\frac{dy}{dt} - b \frac{d\phi}{dt} \right) - \phi$$

Ukupne bočne sile na prednjoj, odnosno zadnjoj osovini su:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 2k_1\delta_1 \\ Y_2 &= 2k_3\delta_3 \end{aligned} \quad (2.9)$$

gde su k_1 i k_3 - koeficijenti skretanja prednje, odnosno zadnje osovine, respektivno.

Ravnoteža sila u pravcu ose y daje:

$$M\ddot{y} + (Y_1 + Y_2) \cos \phi = F_{wb} \cos \phi + F_{wp} \sin \phi \quad (2.10)$$

gde su: M - masa vozila, \ddot{y} - bočno ubrzanje, F_{wb} i F_{wp} - bočna i podužna sila vetra.

Ravnoteža svih sila u pravcu ose x daje:

$$(Y_1 + Y_2) \sin \phi = F_{wb} \sin \phi + F_{wp} \cos \phi \quad (2.11)$$

Uz pretpostavku da je ugao ϕ mali, jednačine (2.10) i (2.11) postaju, respektivno:

$$M\ddot{y} + Y_1 + Y_2 = F_{wb} + F_{wp} \phi \quad (2.12)$$

$$(Y_1 + Y_2) \phi = F_{wb} \phi + F_{wp} \quad (2.13)$$

Zamenom izraza za F_{wp} iz (2.13) u (2.12) i korišćenjem izraza (2.8) i (2.9) dobija se:

$$M\ddot{y} + 2 \frac{k_1 + k_3}{v} \dot{y} + 2 \frac{ak_1 - bk_3}{v} \dot{\phi} - 2(k_1 + k_3)\phi = F_{wb} \quad (2.14)$$

Ravnoteža momenata svih sila oko vertikalne težišne ose vozila, z , daje:

$$J_z \ddot{\phi} + Y_1 a - Y_2 b = M_{wz} + F_{wb} \frac{a-b}{2} \quad (2.15)$$

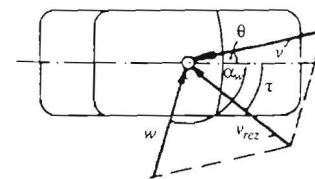
gde su: J_z - moment inercije vozila za osu z , M_{wz} moment bočnog vetra oko vertikalne ose redukovan na težišnu vertikalnu osu vozila, $F_{wb} \frac{a-b}{2}$ je moment bočne sile vetra redukovan na težišnu osu, z /5/. Korišćenjem veza (2.9), odnosno (2.8) dobija se:

$$J_z \ddot{\phi} + 2 \frac{ak_1 - bk_3}{v} \dot{y} + 2 \frac{a^2 k_1 + b^2 k_3}{v} \dot{\phi} - 2(ak_1 - bk_3)\phi = M_{wz} + F_{wb} \frac{a-b}{2} \quad (2.16)$$

Sile i momenti koji potiču od bočnog vetra modelirani su na sledeći način /5/:

$$F_{wb} = 0.5 C_w \rho A v_{rec}^2 \quad (2.17)$$

$$M_{wz} = 0.5 C_m \rho A (a+b) v_{rec}^2 \quad (2.18)$$

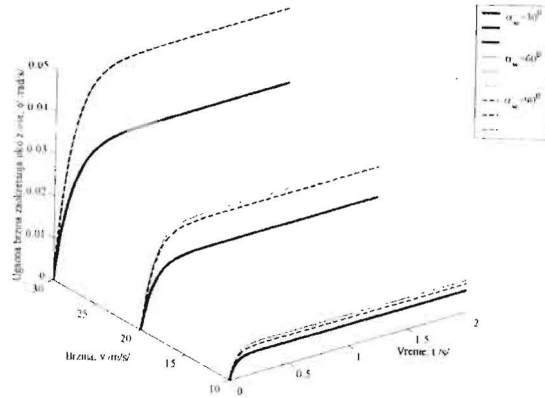


Slika 2.3 Rezultujuća brzina vozila

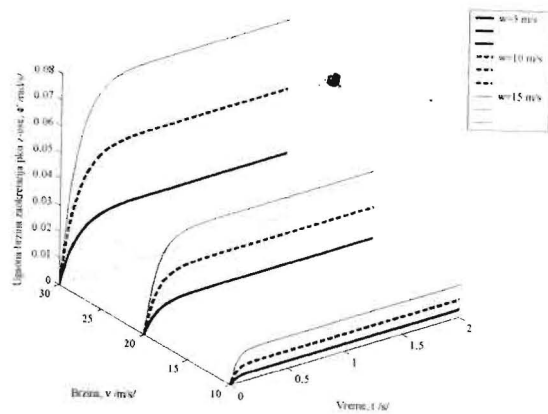
gde su: C_w, C_m - aerodinamični koeficijenti koji se dobijaju eksperimentalnim putem, ρ - gustina vazduha, A - čelna površina vozila i $v_{rec}^2 = v^2 + w^2 - vw \cos(\alpha_w)$ - rezultujuća brzina vozila, pri čemu su w - brzina vetra i α_w - ugao pod kojim vetar dejstvuje na vozilo u odnosu na podužnu osu vozila (vidljivi sa slike 2.3).

3. ANALIZA UTICAJA BOČNOG VETRA NA STABILNOST VOZILA

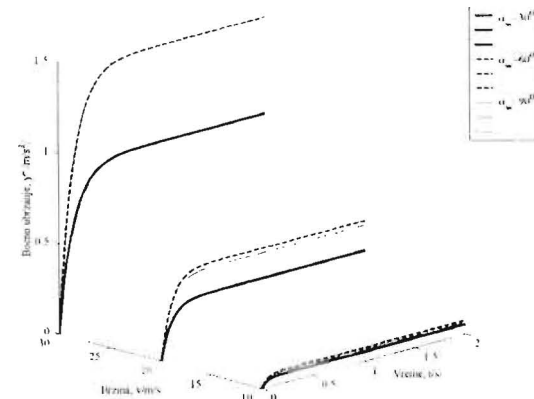
Rešavanjem sistema jednačina (2.14) i (2.16), dobijaju se numeričke vrednosti za ϕ , $\dot{\phi}$, y , \dot{y} , odnosno za \ddot{y} . Uticaj brzine strujanja bočnog vetra, w , ugla pod kojim vetar deluje u odnosu na podužnu osu vozila, α_w , kao i brzine kretanja vozila, v , na vrednosti ugaone brzine plivanja, $\dot{\phi}$, oko vertikalne ose z i bočnog ubrzanja, \ddot{y} , prikazan je na slikama 3.1 do 3.4. Rešenja su dobijena korišćenjem poznatih podataka o vozilu, kao i podataka o eksperimentalno određenim aerodinamičnim koeficijentima iz [6].



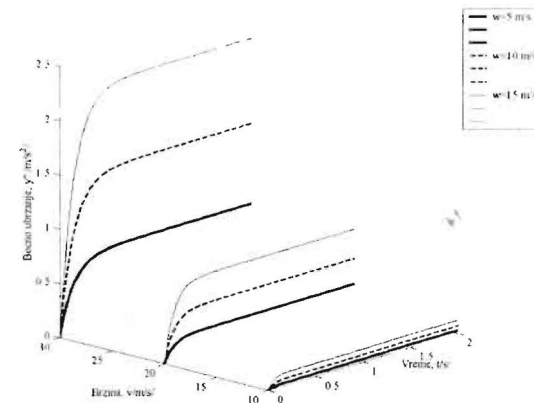
Slika 3.1 Prikaz ugaone brzine zaokretanja oko z -ose u zavisnosti od ugla dejstva vetra i brzine kretanja vozila ($w=10$ m/s)



Slika 3.2. Prikaz ugaone brzine zaokretanja oko z -ose u zavisnosti od brzine vetra i brzine kretanja vozila ($\alpha_w=90^\circ$)



Slika 3.3 Prikaz bočnog ubrzanja u zavisnosti od ugla dejstva bočnog vetra i brzine kretanja vozila ($w=10$ m/s)



Slika 3.4 Prikaz bočnog ubrzanja u zavisnosti od brzine strujanja vetra i brzine kretanja vozila ($\alpha_w=90^\circ$)

Povećanje brzine vetra izaziva povećanje ugaone brzine plivanja i bočnog ubrzanja kod vozila izloženog dejstvu bočnog vetra. Iako obe posmatrane veličine posle nekog vremena postaju konstantne, od interesa za analizu je činjenica da su ugao plivanja i bočni otklon vozila u istoj situaciji monotono rastuće funkcije, što nas navodi na zaključak da se vozilo ne može vratiti na početni kurs bez intervencije vozača, odnosno bez zaokretanja točka upravljača u suprotnom smeru. To znači da se posmatrano vozilo u datim uslovima kretanja ponaša nestabilno.

Sličan zaključak važi i za analizu uticaja ugla nastrujavanja vetra na ugaonu brzinu plivanja: što je veći ugao pod kojim vetar deluje na vozilo u odnosu na podužnu osu vozila.

to su veće vrednosti ugaone brzine plivanja i bočnog ubrzanja. Uzrok leži u činjenici da, što je ugao nstrujavanja vetra veći, veća je i bočna komponenta sile vetra, koja svoj maksimum dostiže kada vetar deluje upravno na podužnu osu vozila. Slučajevi uglova između 90° i 180° ovde nisu razmatrani, jer, iz trigonometrijskih veza sledi da se iste vrednosti bočne komponente sile vetra dobijaju za uglove nstrujavanja $90^\circ - \alpha$ i $90^\circ + \alpha$.

Povećanje brzine kretanja izaziva povećanje ugaone brzine plivanja i bočnog ubrzanja, pri čemu se vrednosti bočnog ubrzanja pri višim brzinama kretanja vozila (iznad 40 m/s i zaviso od brzine vetra) približavaju i vrednostima ubrzanja Zemljine teže, g .

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Za verodostojno modeliranje ponašanja vozila pri vožnji, neophodno je uzeti u obzir složenije modele vozila, ponašanje vozača, ali i stohastičku prirodu bočnog vetra. Pri tome, treba imati u vidu tendencije da se, odgovarajućim modifikacijama oblika unutrašnjih blatobrana i poda vozila, težište dejstva bočnog vetra prebaci na zadnju osovinu vozila i tako rastereti prednja, upravljačka osovina.

Posmatranje jednostavnih modela može pomoći pri donošenju određenih zaključaka u vezi osetljivosti konkretnog vozila na dejstvo bočnog vetra. Takođe, jednostavniji modeli vozila mogu se posmatrati u početnim fazama realizacije aktivnih sistema za upravljanje sa povratnom spregom, sistema za upravljanje na sva četiri točka, kao i pri izboru određenih konstruktivnih parametara vozila. Opšti cilj je povećanje stabilnosti i bezbednosti vozila u saobraćaju, povećanje udobnosti vožnje i smanjenje opterećenja vozaca.

LITERATURA

- [1] V. T. Tran: "Crosswind Feedforward Control - A Measure To Improve Vehicle Crosswind Behaviour", Vehicle System Dynamics, N°23, pp. 165-209, 1994.
- [2] C. K. Yip, D. A. Croft, D. N. L. Horton: "The Influence Of Aerodynamic Effects On Car Handling", XXIV FISITA Congres, Technical papers "Total vehicle dynamics", Vol. 1, pp. 11-23, MEP, London, 1992.
- [3] S. Dick: "Einsatz aerodynamischer Berechnungsmethoden in der Automobilentwicklung", VDI Berichte Nr. 613, Tagung, Wurtzburg, 1986.
- [4] D. Miloradović: "Uticaj bočnog vetra na stabilnost motornih vozila", Seminarski rad u okviru posleđiplomskih studija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2000.
- [5] D. Simić: "Dinamika motornih vozila - stabilnost upravljanja", Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.
- [6] H. Wallentowitz: "Fahrer-Fahrzeug-Seitenwind", Dissertation, Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der TU Carolo-Wilhemina, Braunschweig, 1979.