

Profesor dr Miroslav Demić,
dipl. inž., akademik
Docent dr Jovanka Lukić,
dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Kragujevac
Dr Đorđe Diligenski,
dipl. inž.
naučni saradnik, INN „Vinča”,
Beograd

METOD ZA ANALIZU UTICAJA POLOŽAJA TEŽIŠTA TERETA NA DINAMIČKE PARAMETRE KAMIONA*

UDC: 623.437.44 : 621.86.01

Rezime:

Koncepcija teretnih motornih vozila utiče na njihove dinamičke parametre, mada neki od njih zavise i od položaja tereta u odnosu na tovarni sanduk. U ovom radu analiziran je uticaj položaja tereta, a samim tim i težišta vozila na dinamičke parametre kamiona. Pored promene dinamičkih parametara analizirana je i njihova funkcija osetljivosti prvog reda. Uočen je uticaj promene položaja težišta u podužnom pravcu na vertikalne oscilacije, kao i uticaj promene položaja težišta u bočnom pravcu na ugaone oscilacije.

Ključne reči: teretno motorno vozilo, eksploatacioni uslovi, dinamičke karakteristike.

METHOD FOR THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE LOAD CENTER OF GRAVITY POSITION ON DYNAMIC PARAMETERS OF TRUCKS

Summary:

The concept of heavy motor vehicles exerts influence on their dynamic parameters. Some dynamic parameters also depend on the load position with respect to load space. In this paper, the effects of the load position, i.e. the center of gravity on dynamic parameters of trucks have been analyzed. Besides the dynamic parameter variation analysis, the first order sensitivity functions have been given as well. The influence of changing the center of gravity position in the longitudinal direction on vertical oscillations as well as changing the position of the center of gravity in the lateral direction on angular oscillations have been noticed.

Key words: heavy motor vehicles, exploitation conditions, dynamic characteristics.

Uvod

Pod pojmom koncepcije kamiona u literaturi [4, 21] podrazumeva se međusobni položaj najvažnijih agregata i sistema, kao npr.: položaj motora u odnosu na kabinu, način ugradnje motora u odnosu na noseći sistem (horizontalno, podužno,

poprečno), položaj pogonskog mosta(ova), broj i raspored prenosnika snage, broj i položaj upravljačkih točkova i sl.

Koncepcija utiče na karakteristike kamiona, pa joj se mora posvetiti maksimalna pažnja u fazi projektovanja. Imajući u vidu da je problem uticaja koncepcije kamiona na dinamičke karakteristike detaljno objašnjen u [5], u ovom radu biće razmatran uticaj nekih eksploatacionih parametara na pomenute karakteristike,

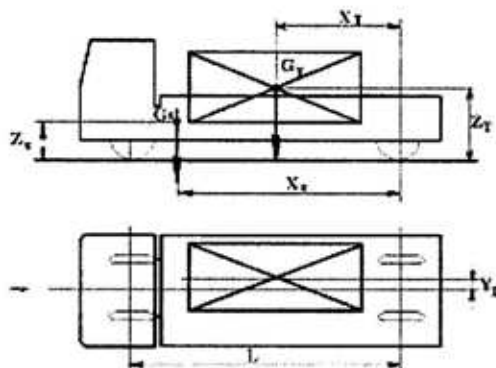
* Rad predstavlja deo rezultata istraživanja u okviru projekta „Istraživanje i razvoj vozila formule točkova 4x4, ukupne mase do 4 t”, Ministarstva za nauku i tehnologiju Vlade Srbije.

sa posebnim osvrtom na položaj tereta u odnosu na tovarni prostor.

Prostorni položaj tereta u tovarnom prostoru kamiona utiče na inercijalne parametre vozila, pa samim tim i na njegove dinamičke parametre. Kako je to značajno za oscilatornu udobnost, upravljivost i bezbednost vozila, u daljem tekstu će pomenuti fenomen biti detaljnije objašnjen, uz korišćenje metoda dinamičke simulacije.

Prikaz metoda istraživanja

Položaj tereta u tovarnom prostoru kamiona znatno utiče na njegove inercijalne parametre. Radi lakšeg praćenja daljeg teksta treba posmatrati sliku 1. Na njoj su označeni položaji težišta neopterećenog vozila (x_u i z_u) i tereta (x_T , y_T i z_T). Na istoj slici G_u predstavlja silu usled mase neopterećenog vozila, a G_T silu usled mase tereta. Treba ukazati na činjenicu da je usvojena pretpostavka da se težište neopterećenog vozila nalazi na podužnoj osi simetrije ($y_s=0$).



Sl. 1 – Šema opterećenog vozila

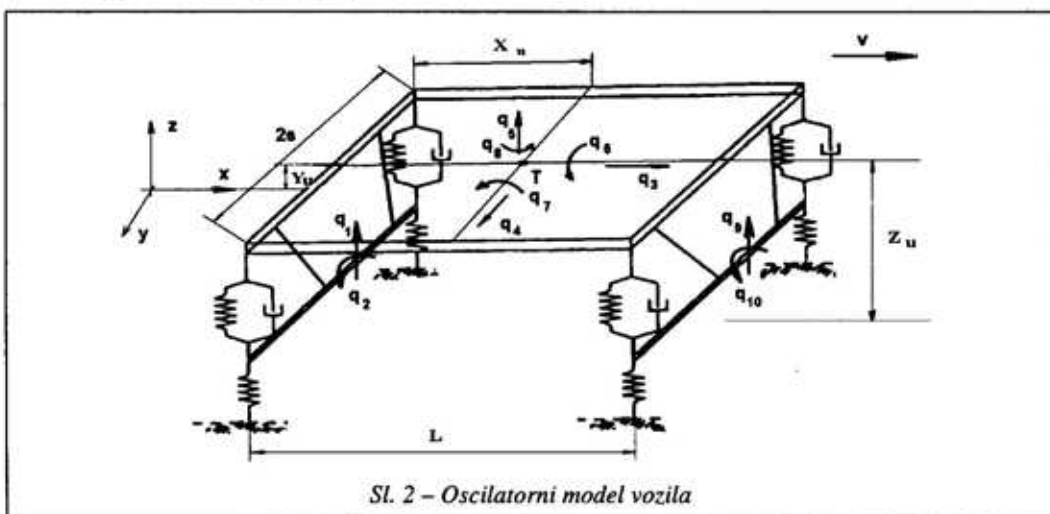
Radi analize uticaja položaja težišta opterećenog vozila (x_u , y_u i z_u) na dinamičke parametre ocenjeno je celishodnim da se izvrši dinamička simulacija. Radi toga je posmatran oscilatorni model na slici 2.

Oscilatorni model obuhvata uticaj inercijalnih parametara, koordinata težišta oslonjene mase i svih oscilatornih parametara na oscilatorna kretanja oslonjenih i neoslonjenih masa. Naime, korišćen oscilatorni model omogućio je analizu sledećih sekundarnih kretanja vozila:

a) zadnje osovine:

q_1 – vertikalne oscilacije,

q_2 – valjanje,



Sl. 2 – Oscilatorni model vozila

b) oslonjene mase:

- q_3 – podužne oscilacije,
- q_4 – bočne oscilacije,
- q_5 – vertikalne oscilacije,
- q_6 – valjanje,
- q_7 – galopiranje,
- q_8 – vijuganje,

c) prednje osovine:

- q_9 – vertikalne oscilacije,
- q_{10} – valjanje.

Očigledno je da posmatrani model kamiona ima deset stepeni slobode kretanja, a nelinearnog je karaktera jer su uključene nelinearnosti opruga, amortizera, pneumatika i stabilizatora. Sile i momenti pomenutih sistema detaljno su opisani u [2, 5, 8, 11, 13, 16, 17, 21, 22].

Diferencijalne jednačine posmatranog oscilatornog modela generisane su pomoću programskog paketa NEWEUL [18]. Postupak pripreme podataka za pomenuti paket veoma je precizan [18] i ovde neće biti prikazan. U toku pripreme

ulaznih podataka korišćena su 24 koordinatna sistema i 5 linearizovanih veličina (q_2, q_6, q_7, q_8 i q_{10}). Značajno je istaći da je posmatran slučaj prostornog kretanja u odnosu na koordinatne sisteme koji se ne poklapaju sa glavnim težišnim osama inercije [7, 13, 14, 17, 19], što je dovelo do još veće složenosti posmatranog oscilatornog modela. Zbog toga je rešavan numerički, primenom metode Kuta-Mersona, sa početnim korakom 0,02 s u 128 tačaka. To je omogućilo pouzdanost rezultata u oblasti 0,4 do 25 Hz, [1], što je sasvim zadovoljavajuće sa aspekta oscilatorne udobnosti [2, 21]. Tokom simulacije korišćena je poliharmonijska funkcija pobude od mikroneravnina puta, koja je detaljno opisana u [2].

Kako na oscilatorne pobude od mikroneravnina puta utiče i brzina kretanja, ocenjeno je celishodnim da se simulacija realizuje pri kretanju posmatranog vozila po asfaltnom putu, brzinom od 20 m/s [8, 9].

Inercijalni parametri oslonjene mase za razne varijante

Tabela 1

	a	b	c	d	e	f	g	i	j
m (kg)	11290	11290	11290	11290	11290	11290	11290	11290	11290
x_u (m)	0,975	1,639	2,304	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639	1,639
y_u (m)	0,00	0,00	0,00	-0,531	0,00	0,531	0,00	0,00	0,00
z_u (m)	1,011	1,011	1,011	1,011	1,011	1,011	0,279	0,411	0,544
I_x (kgm ²)	4118	4118	4118	5729	4118	5729	3953	4118	4485
I_y (kgm ²)	41582	29472	22397	29472	29472	29472	29307	29472	29838
I_z (kgm ²)	44076	31965	24891	33577	31965	33577	31965	31965	31965
I_{xy} (kgm ²)	0,00	0,00	0,00	3836	0,00	-3836	0,00	0,00	0,00
I_{xz} (kgm ²)	-1930	-1266	-601	-1266	-1266	-1266	-306	-1266	2225
I_{yz} (kgm ²)	0,00	0,00	0,00	-531	0,00	531	0,00	0,00	0,00

Tabela 2
Inercijalni parametri osovina

Parametar	Osovina	
	Prednja	Zadnja
m (kg)	698	1012
x_0 (m)	4,00	0,00
y_0 (m)	0,00	0,00
z_0 (m)	0,60	0,60
I_x (kgm ²)	16	33
I_y (kgm ²)	600	1297
I_z (kgm ²)	600	1263
I_{xy} (kgm ²)	0,00	0,00
I_{xz} (kgm ²)	0,00	0,00
I_{yz} (kgm ²)	0,00	0,00

Podaci iz tabela 1 i 2 odnose se na težišne ose inercije.

Imajući u vidu postavljeni cilj, položaj težišta tereta variran je u granicama koje dozvoljava tovarni sanduk kamiona iz proizvodnog programa FAP [8], čiji su inercijalni parametri, za neopterećeno stanje, poznati.

Tokom analize pretpostavljeno je da su glavne težišne ose inercije tereta paralelne sa glavnim težišnim osama inercije neopterećenog vozila.

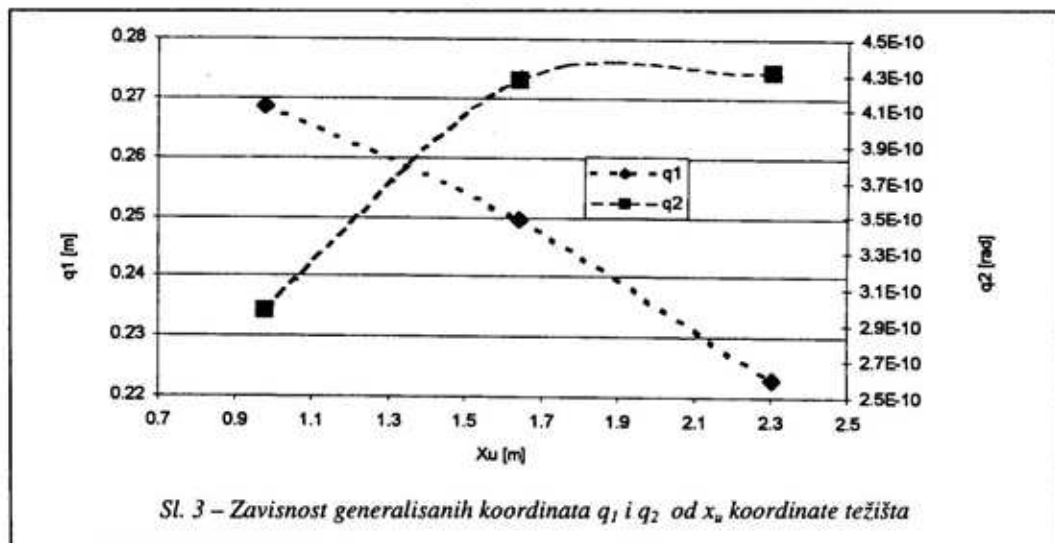
Koristeći razvijeni računarski program DEMPARIN [6], izračunati su inercijalni

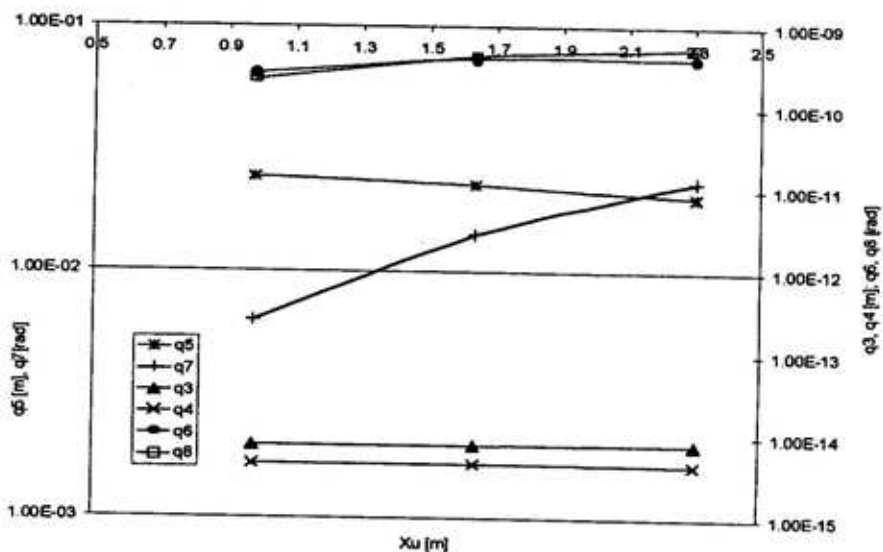
parametri za razne varijante (a, b, ... j) opterećenog vozila na osnovu podataka o neopterećenom vozilu i teretu, a rezultujući podaci su prikazani u tabelama 1 i 2.

Dinamička simulacija i analiza rezultata

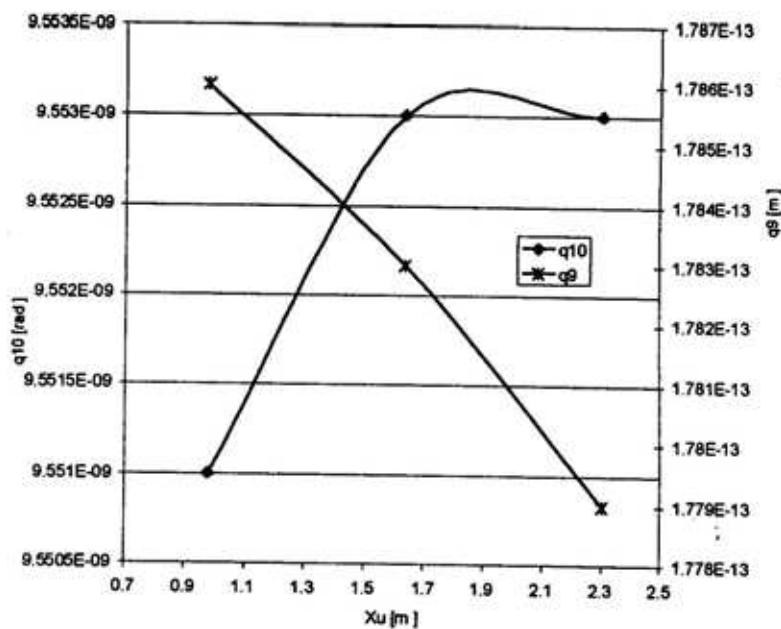
U ovom radu izvršena je analiza uticaja koordinata težišta tereta, a samim tim i kompletnog vozila, na oscilatorna kretanja q_1 - q_{10} . Imajući u vidu da je za ponašanje vozila na putu [4] veoma značajan odnos prednje i zadnje reakcije tla, ocenjeno je celishodnim da se u analizu uključi i ova veličina.

Na osnovu podataka iz tabela 1 i 2 i definisanih eksploatacionih uslova, uz koršćenje računara Pentium 3 (takt 1.133 GHz, 128 MB ram i 20 Gb hard disc), za oko 12 sati rada izvršena je dinamička simulacija. Analize su pokazale da je celishodno istraživati uticaj efektivnih vrednosti posmatranih veličina, u funkciji koordinata težišta x_u , y_u i z_u . Dobijeni rezultati prikazani su na slikama 3 do 14.

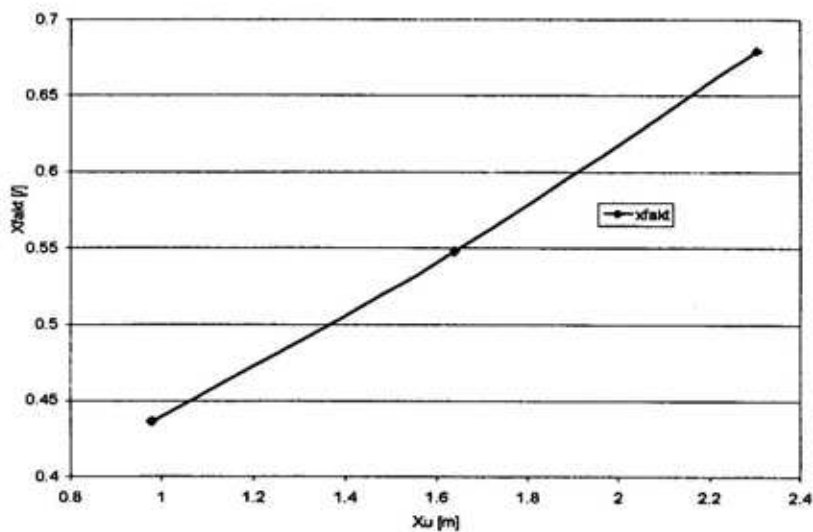




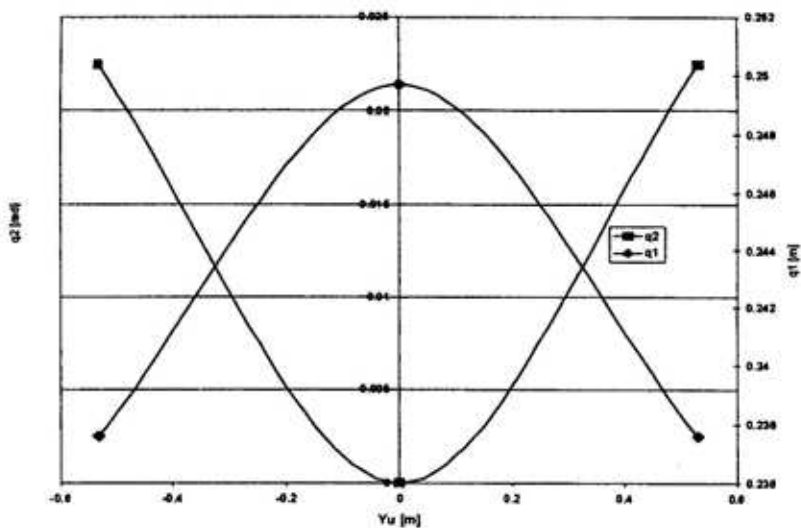
Sl. 4 – Zavisnost generalisanih koordinata $q_3 - q_8$ od x_u koordinate težišta



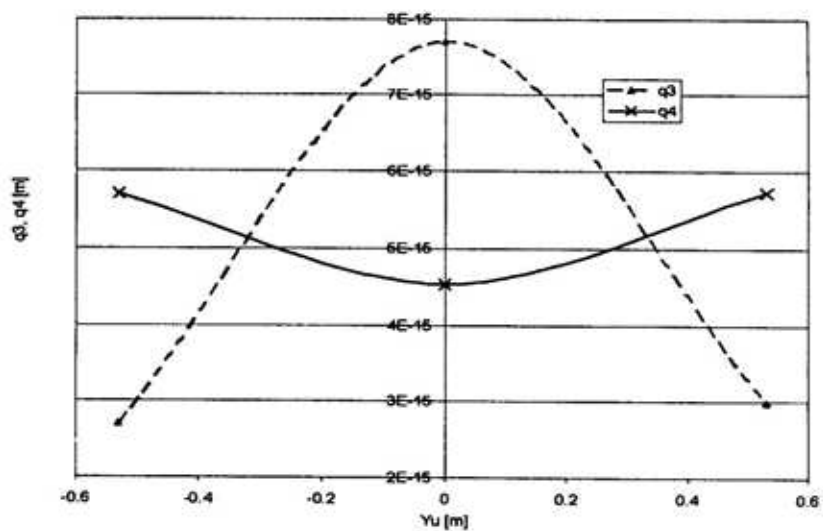
Sl. 5 – Zavisnost generalisanih koordinata q_9 i q_{10} od x_u koordinate težišta



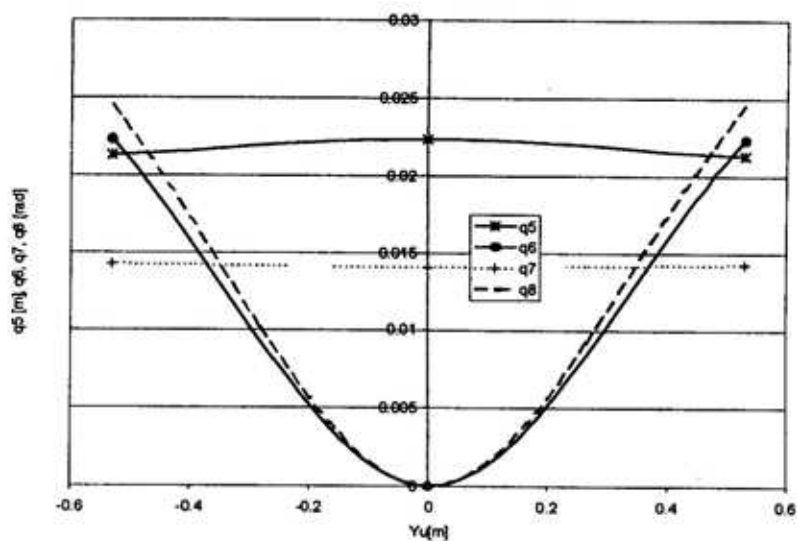
Sl. 6 – Zavisnost odnosa dinamičke reakcije prednje i zadnje osovine od x_u koordinate težišta



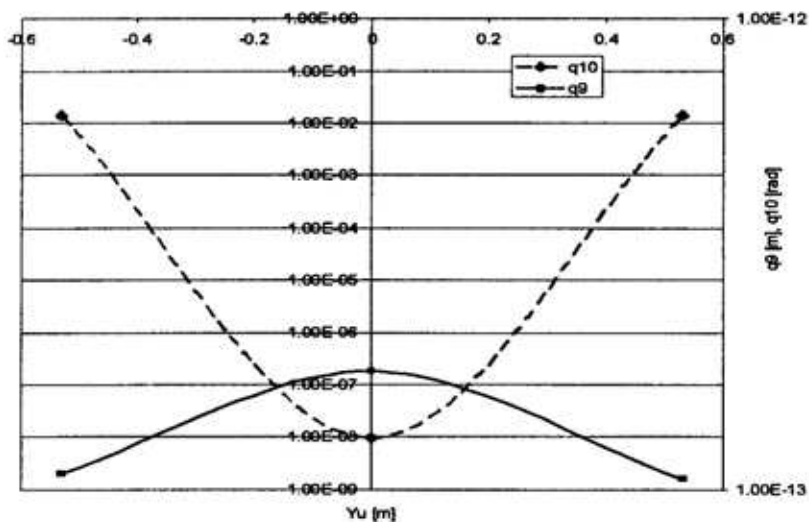
Sl. 7 – Zavisnost generalisanih koordinata q_1 i q_2 od y_u koordinate težišta



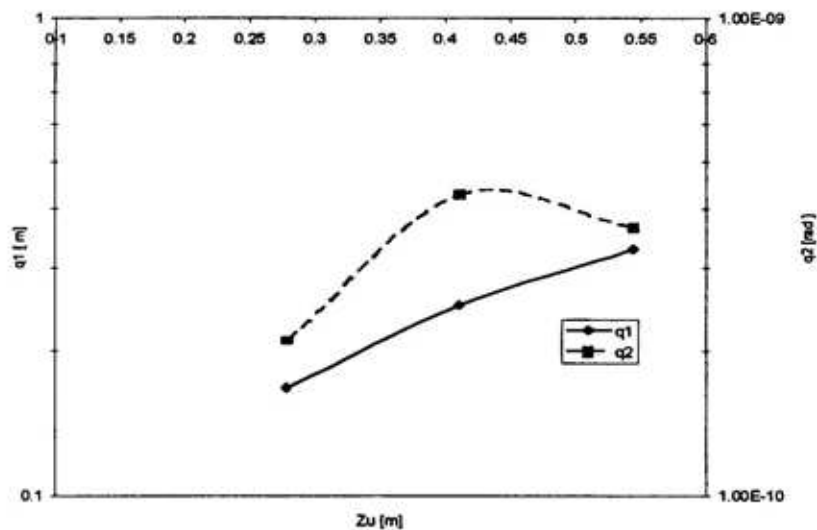
Sl. 8 – Zavisnost generalisanih koordinata q_3 i q_4 od y_u koordinate težišta



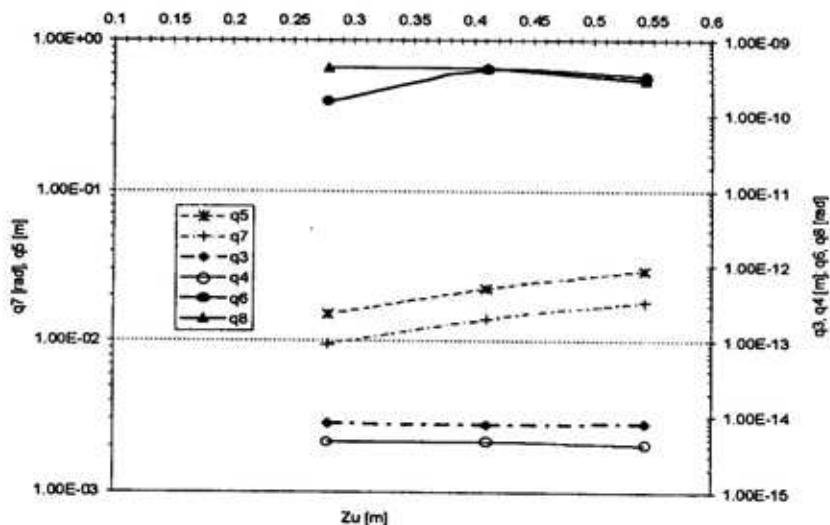
Sl. 9 – Zavisnost generalisanih koordinata q_5 - q_8 od y_u koordinate težišta



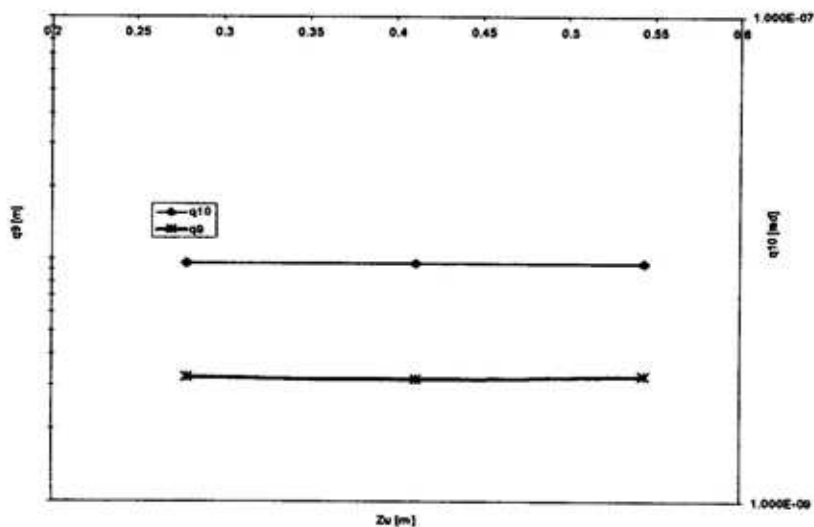
Sl. 10 – Zavisnost generalisanih koordinata q_9 i q_{10} od y_u koordinate težišta



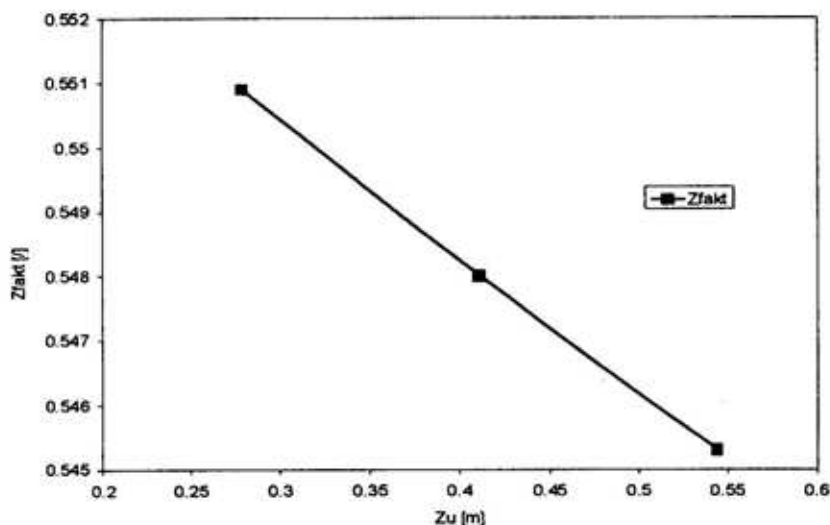
Sl. 11 – Zavisnost generalisanih koordinata q_1 i q_2 od z_u koordinate težišta



Sl. 12 – Zavisnost generalisanih koordinata q_3 - q_8 od z_u koordinate težišta



Sl. 13 – Zavisnost generalisanih koordinata q_9 i q_{10} od z_u koordinate težišta



Sl. 14 – Zavisnost odnosa dinamičke reakcije prednje i zadnje osovine od z_u koordinate težišta

Na slikama 3 do 14 uočava se da promena položaja tereta po dužini vozila bitno utiče na posmatrane dinamičke parametre vozila (q_1 – q_{10}), kao i odnos dinamičke reakcije prednje i zadnje osovine Z_{fakt} . Treba istaći da je taj uticaj različit i da zavisi od posmatranog parametra. Ako se položaj težišta pomera ka prednjoj osovini u podužnom pravcu, vertikalne oscilacije zadnje osovine se snižavaju, a ugaone oscilacije valjanja naglo rastu, a zatim imaju blag rast u odnosu na polazne vrednosti (slika 3).

Podužne (q_3) i bočne (q_4) oscilacije oslonjene mase ne zavise od promene položaja težišta vozila u podužnom pravcu. Vertikalne oscilacije oslonjene mase (q_5) povećavaju se dok se ugaone oscilacije galopiranja oslonjene mase (q_7) blago smanjuju pomeranjem položaja težišta ka prednjoj osovini (slika 4).

Ugaone oscilacije valjanja i vijuganja oslonjene mase blago rastu sa porastom veličine x_u (slika 4). Pomeranje te-

žišta ka prednjoj osovini naglo smanjuje vertikalne oscilacije prednje osovine (q_9) i povećava ugaone oscilacije prednje osovine (q_{10}) (slika 5).

Odnos dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine povećava se sa porastom koordinate x_u . Približavanjem težišta prednjoj osovini povećava se opterećenje prednje osovine u odnosu na zadnju (slika 6).

Promena položaja težišta u bočnom pravcu utiče na smanjenje vertikalnih oscilacija zadnje osovine i na povećanje ugaonih oscilacija valjanja zadnje osovine (slika 7). Podužne oscilacije oslonjene mase se smanjuju sa promenom položaja težišta, dok se bočne oscilacije povećavaju (slika 8).

Vertikalne oscilacije oslonjene mase blago se smanjuju sa promenom položaja težišta, dok ugaone oscilacije galopiranja oslonjene mase blago rastu. Ugaone oscilacije valjanja i vijuganja oslonjene mase naglo rastu sa promenom položaja težišta u odnosu na podužnu težišnu osu vozila (slika

9). Vertikalne oscilacije prednje osovine se smanjuju, dok ugaone oscilacije valjanja prednje osovine naglo rastu sa promenom položaja težišta u bočnom pravcu (slika 10).

Promena položaja težišta u odnosu na podužnu težišnu osu u bočnom pravcu ne utiče na odnos dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine.

Promena visine težišta utiče na posmatrane dinamičke parametre vozila. Povećanje visine težišta utiče na povećanje vertikalnih i ugaonih oscilacija zadnje osovine (slika 11).

Na podužne i bočne oscilacije oslonjene mase promena visine težišta veoma malo utiče. Povećanje visine težišta utiče na porast vertikalnih i ugaonih oscilacija galopiranja oslonjene mase. Pri manjim visinama težišta ugaone oscilacije valjanja oslonjene mase (q_6) rastu da bi pri većim visinama težišta opadale. Ugaone oscilacije vijuganja oslonjene mase blago opadaju sa povećanjem visine težišta (slika 12). Na vertikalne i ugaone oscilacije valjanja prednje osovine ne utiče položaj visine težišta (slika 13). Porast visine težišta smanjuje razliku između dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine (slika 14).

Imajući u vidu činjenicu da uticaj x_u , y_u i z_u na posmatrane dinamičke veličine nije istovetan, ocenjeno je celishodnim da se izračunaju tzv. „funkcije osetljivosti“ prvog reda [24]:

$$L_z = p \frac{\partial z(p,t)}{\partial p}, \quad (1)$$

gde je:

$z(p,t)$ – efektivna vrednost posmatrane dinamičke veličine,

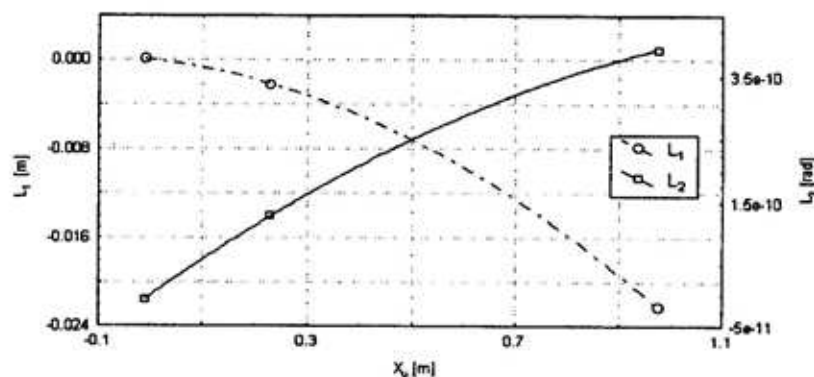
p – parametar sistema (x_u , y_u i z_u).

t – vreme.

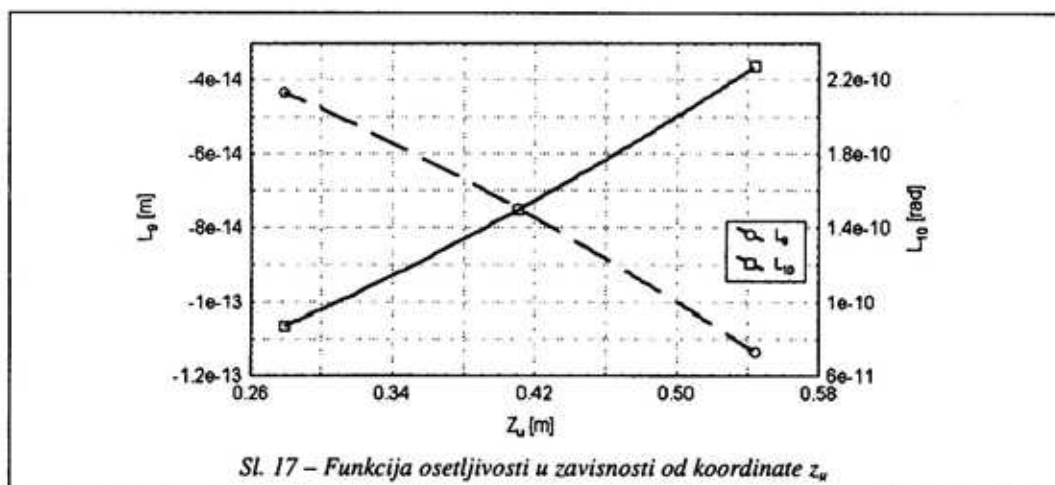
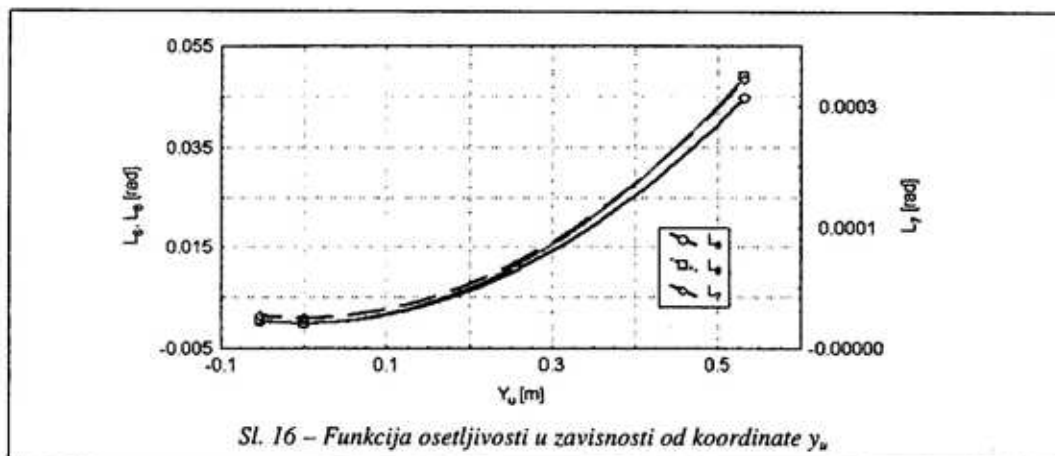
Na osnovu podataka sa slika 3 do 14 i primenom izraza (1) izračunate su funkcije osetljivosti koje su, radi ilustracije, delimično prikazane na slikama 15 do 17. Može se uočiti da analizirani parametri utiču na dinamičke parametre kamiona.

Analizom svih funkcija osetljivosti može se zaključiti da funkcija osetljivosti svih posmatranih veličina zavisi od položaja težišta tereta u odnosu na tovarni sanduk.

Pomeranje težišta ka prednjoj osovini utiče na povećanje funkcija osetljivosti vertikalnih i ugaonih oscilacija zadnje osovine, smanjenje funkcije osetljivosti podužnih i vertikalnih oscilacija oslonjene ma-



Sl. 15 – Funkcija osetljivosti u zavisnosti od koordinate x_u



se, dok je uticaj na bočne oscilacije zadnje osovine neznan. Funkcije osetljivosti određene za ugaone oscilacije oslonjene mase rastu pomeranjem težišta vozila ka prednjoj osovini. Funkcija osetljivosti vertikalnih oscilacija prednje osovine opada, dok funkcija osetljivosti ugaonih oscilacija prednje osovine opada sa porastom koordinate x_u . Razlika dinamičkih opterećenja prednje i zadnje osovine raste pomeranjem težišta napred.

Promena položaja težišta u bočnom pravcu smanjuje funkcije osetljivosti koje opisuju vertikalna pomeranja, i dovode do

povećanja funkcije osetljivosti koje opisuju ugaona pomeranja prednje osovine, zadnje osovine i oslonjene mase. Promena položaja težišta u bočnom pravcu ne utiče na promenu funkcije osetljivosti koja se odnosi na razliku dinamičkih reakcija tla.

Povećanje visine težišta utiče na povećanje vertikalnih i ugaonih oscilacija zadnje osovine. Funkcije osetljivosti podužnih i vertikalnih oscilacija rastu, dok bočnih oscilacija oslonjene mase opadaju sa porastom koordinate z_u . Ugaone oscilacije valjanja i vijuganja opadaju dok ugaone oscilacije galopiranja opadaju sa

porastom z_u . Povećanje koordinate z_u smanjuje funkciju osetljivosti koja se odnosi na razliku između dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine.

Zaključak

Na osnovu izvršenih istraživanja, može se zaključiti sledeće:

- položaj težišta tereta utiče na dinamičke parametre kamiona;
- pomeranje položaja težišta ka prednjoj osovini utiče na smanjenje vertikalnih oscilacija prednje i zadnje osovine i oslonjene mase, dok na podužne i bočne oscilacije oslonjene mase nemaju uticaja;
- ugaone oscilacije rastu sa povećanjem koordinate x_u ;
- promena položaja težišta u bočnom pravcu ima najveći uticaj na ugaone oscilacije valjanja;
- promena visine težišta ima najveći uticaj na povećanje vertikalnih oscilacija zadnje osovine i oslonjene mase, kao i na smanjenje razlike dinamičkih sila na prednjoj i zadnjoj osovini;
- funkcije osetljivosti vertikalnih oscilacija opadaju sa promenom položaja težišta ka prednjoj osovini u podužnom pravcu, dok funkcije osetljivosti ugaonih oscilacija valjanja prednje i zadnje osovine rastu;
- uticaj promene položaja težišta u podužnom pravcu na ugaone oscilacije valjanja i galopiranja oslonjene mase nije znatno izražen;
- funkcija osetljivosti koja se odnosi na razliku dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine raste sa pomeranjem težišta ka prednjoj osovini;
- najslabiji uticaj na funkcije osetljivosti ima promena položaja težišta u bočnom pravcu, jer vertikalne oscilacije

osovina opadaju dok se ugaone oscilacije valjanja povećavaju;

- povećanje visine težišta utiče na povećanje vertikalnih oscilacija zadnje osovine i oslonjene mase, na smanjenje razlike dinamičkih reakcija prednje i zadnje osovine, a nema uticaja na ugaone oscilacije oslonjene mase, kao ni na oscilacije prednje osovine.

Literatura:

- [1] Bendat, J. S. and Piersol, A. G.: Analysis and Measuring Procedures, Wiley Interscience (na ruskom) Applications of Correlation and Spectral analysis, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- [2] Demić, M.: Optimizacija oscilatornih sistema motornih vozila, monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.
- [3] Demić, M.: Teorija kretanja motornih vozila, Tehnički fakultet, Čačak, 1999.
- [4] Demić, M. i dr.: Osnovi projektovanja teretnih motornih vozila, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.
- [5] Demić, M. i dr.: Prilog analizi koncepcije na dinamičke parametre teretnih motornih vozila, časopis Tehnika 2003.
- [6] Demić, M.: DEMPARIN, program za izračunavanje momenta inercije u fazi projektovanja vozila, <http://pt.zu/korisnici/i/m/minizm034/>
- [7] Đurić, S.: Mehanika III i IV, Dinamika i teorija oscilacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.
- [8] Ellis, J. R.: Vehicle Dynamics, MEP Ltd, London, 1974.
- [9] FAP: Informacije, 2002.
- [10] Fitech, W.: Motor Truck Engineering Handbook, SAE, Warrendale, 1993.
- [11] Gillespie, T.: Fundamental of vehicle dynamics, SAE, 1992.
- [12] Hačurov, A. A. i dr.: Dinamika sistemi: Doroga – šini-avtomobilj-voditelj, Mašinstroenije, Moskva, 1976.
- [13] <http://kwoon3d.com/theory/moi/moi.html>: Moment of inertia of a systems of particles, 2002.
- [14] Mastinu, G.; Gobbi, M.; Miano, C. M.: The influence of the body Inertia Tensor on the active Safety and Ride Comfort of road Vehicles, SAE 2002, 2002-01-2058
- [15] Miliken, W.; Miliken, D.: Race car Dynamics, SAE, 1995.
- [16] Mitschke, M.: Dynamik def Kraftfahrzeuge, Springer, 1973
- [17] Navarro, H. A.; Canale, A. C.: Influences of the load centre gravity of heavy vehicle acceleration, Heavy Vehicle Systems, vol. 8, No.1, 2001, pp. 17-47
- [18] NEWEL, Manual, TU Stuttgart, 2000.
- [19] Pars, A.: Treatise of Analytic Dynamics, Heinemann. London, 1971.
- [20] Rotenberg, V.: Podveska avtomobilja, Mašinstroenije, Moskva, 1972.
- [21] Simić, D.: Dinamika motornih vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [22] Simić, D.: Motorna vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [23] Skinder, I. B.; Zacerkovnij, I. G.: Teoretičeskoe i eksperimentalnoe issledovanja koeficienta raspodelenija mass avtobusa LAZ-695 B, Avtomobiljnaja promišlenost, No 2, 1964, pp. 9-12.
- [24] Tomović, R. i dr.: Uvod u nelinearne sisteme automatskog upravljanja, Naučna knjiga, Beograd, 1974.