

UDK: 631.372:669-8

*Originalni naučni rad
Original scientific paper*

UTICAJ DINAMIKE POLJOPRIVREDNOG TRAKTORA NA NJEGOVO RACIONALNO KORIŠĆENJE

Aleksandra Janković, Rajko Radonjić*, Đorđe Antonijević, Dragoljub Radonjić

Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka – Kragujevac

Sažetak: U ovom radu su diskutovani problemi dinamike poljoprivrednog traktora s obzirom na njegovu radnu efikasnost. Analizirani su tipični traktorski sistemi odabrani saglasno radnim zadacima, načinu sprežanja komponenata, njihovoj interakciji, kao i interakciji na uslove tla. U ovom smislu formiran je i korišćen uopšten simulacioni model traktorskog sistema. Prikazani su i diskutovani ilustrativni rezultati kao značajna osnova za upotrebu komponenata aktivnog upravljanja i podrške GPS – a.

Ključne reči: *traktor, sistem, dinamika, efikasnost, uopštteni model, simulacija.*

UVOD

Poljoprivredni traktori po svojoj nameni su predviđeni za obavljanje brojnih radnih operacija kao i za različite transportne zadatke u poljskim i drumskim uslovima. U ovom smislu, traktor se u toku radnog veka koristi u sprezi sa radnim mašinama i uređajima različitih mehaničkih i funkcionalnih svojstava, zavisno od konkretnog zadatka koji obavlja. Tako spregnuti traktor i radni priključak formiraju traktorski sistem određenih dinamičkih karakteristika, na koje utiču parcijalne karakteristike spregnutih jedinica, vučena, pogonjena, kao i njihova uzajamna interakcija, ali i interakcija sa tlom i okruženjem, kako pojedinačna, tako i interakcija formiranog sistema kao celine, [1], [2], [8], [10]. Na ove dinamičke karakteristike značajan uticaj ispoljavaju, uslovi rada, vremenski i atmosferski uslovi, uspostavljeni parametri radnih procesa i režima kretanja, što se sve, u krajnjem rezultatu odražava na racionalno korišćenje traktora, odnosno, formiranog sistema, u pogledu njegovog učinka i ostvarenog kvaliteta rada.

U sklopu ovih pitanja ističu se tri segmenta istraživanja dinamičkih karakteristika traktora i odgovarajućih traktorskih sistema:

1. objektivne karakteristike, takozvane karakteristike u otvorenoj konturi, kao reakcija sistema na sile generirane pri pravolinijskim i krivolinijskim režimima kretanja,

* Kontakt autor: Rajko Radonjić, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija.

E-mail: rradonjic@kg.ac.rs

2. karakteristike interakcije sistema traktor – ljudski operator, vozač, rukovalac, kao reakcija traktora i sistema na sile uvedene preko komandi za upravljanje kretanjem i/ili, komandi za obavljanje radnih operacija,
3. uticajne karakteristike koje ispoljava traktor i sistem na ljudski operator, tlo, okruženje, dakle, komfor, sabijanje tla, ekologija, respektivno.

Svaki od ovih segmenata se može dalje raščlaniti i specificirati u skladu sa aktuelnim zahtevima razvoja novih, odnosno, poboljšanja i racionalnog korišćenja postojećih traktorskih sistema. Tako u okviru prve grupe pitanja može se govoriti o potrebi razvoja adekvatnih simulacionih i eksperimentalnih metoda za identifikaciju dinamičkih karakteristika traktora i sistema, odnosno, predviđanju njihovih optimalnih potencijalnih svojstava na osnovama postavljenih zahteva. Istraživanja interakcije tehničkog sistema i ljudskog faktora su interdisciplinarnog karaktera, usmerena na regulaciono–tehnička pitanja procesa upravljanja i u vezi s tim na psiho-fiziološka stanja operatora. Aktuelni problemi u ovom segmentu istraživanja se odnose na optimalnu podelu upravljačkih funkcija između operatora i mehatronike za automatsko upravljanje radnim procesima i režimima kretanja. Treći segment, kroz ergonomske parametre ukazuje na stepen prilagođenosti traktorskog sistema ljudskom operatoru, a kroz upotrebne karakteristike o prikladnosti primene na određenim zemljištima pod određenim uslovima i generalno o zaštiti okruženja shodno aktuelnim zahtevima i savremenim trendovima.

MATERIJAL I METODE RADA

Polazeći od gore istaknutih problema sproveli smo analizu tipičnih konfiguracija traktorskih sistema sa posebnim osvrtom na tip, namenu, konstruktivna svojstva priključne mašine, kao i načina sprege sa traktorom, vrste pogona, samo vuča ili vuča i pogon radnih uređaja. Takođe je pažnja posvećena analizi interakcije radnih uređaja sa tlom zavisno od namene i radnog principa. Neki od analiziranih primera traktorskih sistema pokazani su na Sl. 1 (a, b, c). Prva dva, prikazana na Sl. 1a, odnose se na traktorski sistem, traktor - jednoosovinska prikolica, za transportne i radne zadatke u poljoprivredi. Pri tome, traktor obavlja funkciju vuče priključnog sredstva - prikolice, posredstvom rude. Prikolica je u interakciji sa tlom preko točkova sa pneumaticima. Druga dva, prikazana na Sl. 1b, se odnose na radne mašine za skupljanje i presovanje sena. Njihova interakcija sa traktorom je preko rude za vuču i preko priključka za pogon radnih organa, a sa tlom, preko točkova sa pneumaticima i uređaja za prihvat i unošenje otkosa sena u radni prostor za presovanje. Prikazi karakterističnih sistema za primarnu obradu zemljišta dati su na Sl. 1c. U pitanju su sprege traktora i različitih izvedbi plugova. Dakle, od strane traktora se obezbeđuje potrebna vučna sila za proces oranja, a kontakt sa tlom se ostvaruje reznim elementima pluga i oslonim točkovima ako su isti predviđeni za datu varijantu pluga. Na isti način i sa istim parametrima ocene mogu se analizirati i drugi vidovi traktorskih sistema. A osnovni cilj ove analize je stvaranje baze za formiranje adekvatnih modela neophodnih za istraživanje uticaja dinamike traktora i sa njim spregnutih radnih priključaka na efikasnost obavljanja poljoprivrednih operacija.

U našim dosadašnjim radovima, gore navedene probleme smo rešavali parcijalno i to: za transportne traktorske sisteme u domenu stabilnosti i upravljivosti, dakle, domen bočne dinamike kretanja, [3], [4], [5], [6]; za sisteme za skupljanje sena, balere, sa

aspekta vučne efikasnosti i proizvodnosti, odnosi podužne dinamike kretanja sistema [7]; kod sistema za oranje, parametri obrade zemljišta u funkciji uticajnih faktora, načina sprege, oslanjanja i regulisanja, interakcija podužne i vertikalne dinamike sistema pri radu i kretanju [9]. Međutim, u skladu sa zahtevima i trendovima razvoja i korišćenja traktorskih sistema većih snaga, viših brzina kretanja i rada, za obavljanje nekoliko operacija u jednom prolazu, pitanje uticaja dinamike takvih sistema na efikasnost i kvalitet rada postaje sve značajnije. Ovi faktori u relaciji sa zahtevima koji se postavljaju kao uslovi za adekvatnu GPS i INS podršku nameću potrebu da se traktorski sistem pri istraživanju posmatra onakav kakav i jeste u realnosti, prostorom, sa svim relevantnim stepenima slobode kretanja i značajno povećanim radnim brzinama.



Slika.1. Traktorski sistemi
 (a. transport, b. sakupljanje i presovanje sena, c. oranje)
 Figure 1. Tractor systems
 (a. plowing, b. hay collecting and pressing, c. transport)

Polazeći od parcijalnih modela, razvijenih u našim, gore navedenim radovima, formirali smo uopšteni fizički i matematički model dinamike traktorskog sistema, proizvoljne konfiguracije i namene sa specifikacijom odnosa sprege komponenata i interakcije sa tlom, dakle, načina veze, oslanjanja sa tlom i radnog zahvata u odnosu na tlo. Prikaz modela i dobijeni rezultati dati su u narednom poglavlju.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Saglasno prikazima na Sl. 1, formiran je uopšten fizički model traktorskog sistema dat na Sl. 2., i na osnovu njega napisan matematički model oblika:

$$m_1 v(\dot{\alpha}_1 + \dot{\varepsilon}_1) + m_2 v(\dot{\alpha}_2 + \dot{\varepsilon}_2) = Y_{11} + Y_{12} + Y_{21} \quad (1)$$

$$J_1 \ddot{\varepsilon}_1 + m_1 v(\dot{\alpha}_1 + \dot{\varepsilon}_1)(b_1 + e_1) = Y_{11}(l_1 + e_1) + Y_{12} e_1 \quad (2)$$

$$J_2 \ddot{\varepsilon}_2 + m_2 v(\dot{\alpha}_2 + \dot{\varepsilon}_2)(l_2 - b_2) = Y_{21} l_2 \quad (3)$$

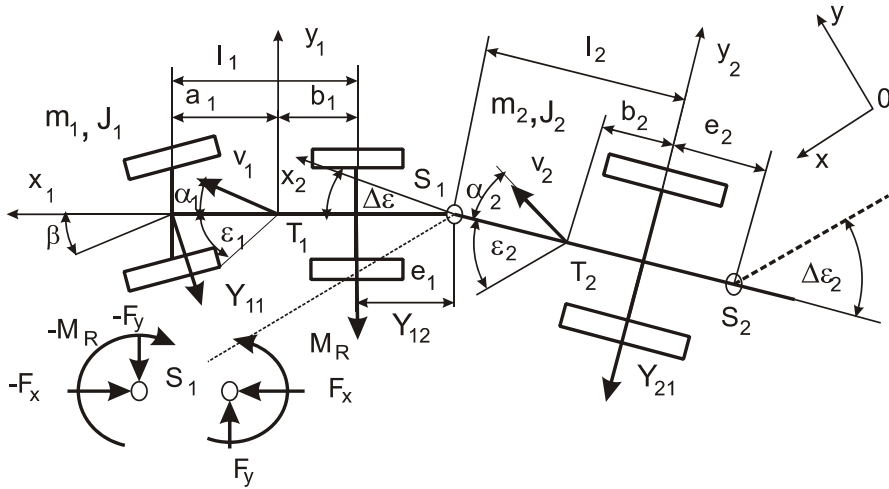
$$\Delta \varepsilon_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (4)$$

$$Y_{11} = Y_{11}(K_{11}, \alpha_1, \beta, \dot{\varepsilon}_1, v, kp_{11}) \quad (5)$$

$$Y_{12} = Y_{12}(K_{12}, \alpha_1, \dot{\varepsilon}_1, v, kp_{12}) \quad (6)$$

$$Y_{21} = Y_{21}(K_{21}^*, \alpha_1, \Delta \varepsilon_1, \dot{\varepsilon}_1, \dot{\varepsilon}_2, v, kp_{21}) \quad (7)$$

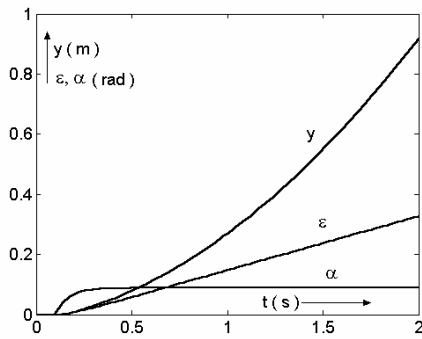
Uopštavanje ranije korišćenih modela [4], [6], se sastoji u tome, da se veze implementata traktorskog sistema, S_1 , S_2 , itd. sada razmatraju kao univerzalni zglobovi kojima se mogu modelirati različite izvedbe spojnih mehanizama. Osim toga, uvedeni su pojmovi ekvivalentnih reakcija implementa i tla u tri upravne ravni, kao rezultat različitih načina oslanjanja na tlo i zadiranja u tlo. Kao primer za ovo, navodi se ekvivalentna bočna reakcija na implementu, označena na fizičkom modelu, Sl. 2, sa Y_{21} i prikazana matematičkim modelom (2c). Argument K_{21}^* u izrazu (2c) je ekvivalent bočnog skretanja traktorskog sistema usled istovremenih efekata oslonih i radnih elemenata implementa. Kod plugova, kao implementa, zavisno od izvedbe, to su osloni točkovi sa pneumaticima i elementi pluga u radnom zahvatu sa tlom, Sl. 3.



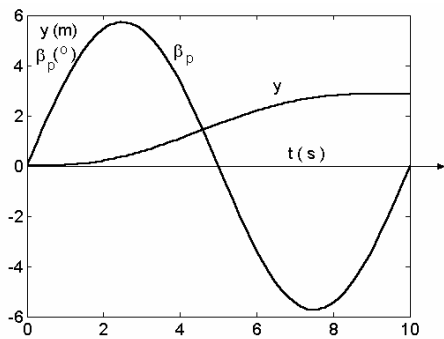
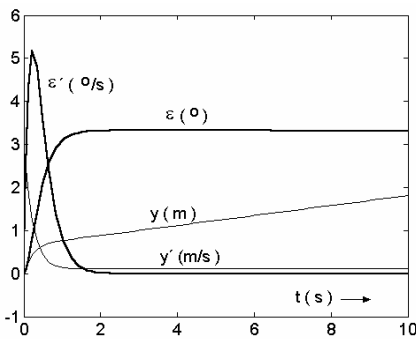
Slika 2. Uopšten fizički model traktorskih sistema prema Sl.1.
 Figure 2. Generalized physical model of tractor systems in Fig.1.



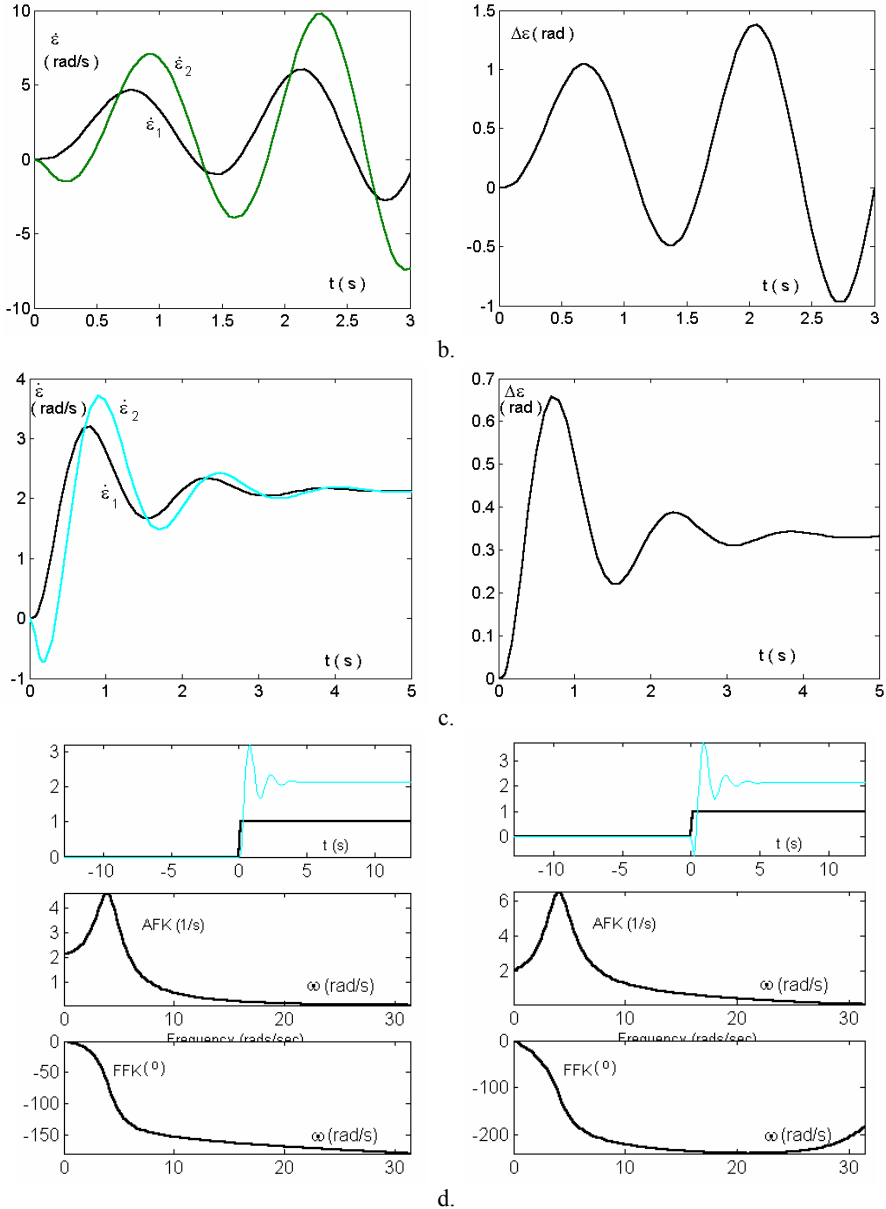
Slika.3. Kontakt implement-tlo
 Figure 1. Contact implement-soil



Grafik. 1. Rezultati simulacije
 Chart 1. Simulation results



a.



Grafik 2. Rezultati simulacije
Chart 2. Simulation results

Segmenti rezultata istraživanja ponašanja posebno traktora, a zatim sprege traktor – implement, uz pomoć modela (1), (2), za različite vidove zaokretanja točka upravljača, prikazani su na Graficima 1 i 2. Grafik 1 pokazuje promenu koordinata položaja traktora pri stupnjevitom zaokretanju točka upravljača traktora a grafici 2a, b, pri impulsnom

impulsnom i periodičnom – harmonijskom zaokretanju točka upravljača. Tokovi i intenzitet promene koordinata položaja, y , ε , (oznake na Sl. 2), za posmatrane slučajeve, su u relaciji sa pokazateljima napora manuelne kontrole ljudskog operatora, odnosno, neophodne strukture automatskog sistema za vođenje traktora. Formiran traktorski sistem, zavisno od parametara i uslova rada biće težak za upravljanje i nestabilan, prema rezultatima na Graf. 2b, ili lako upravljiv i stabilan, prema Graf. 2c. U odnosu na upravljačko dejstvo, preko točka upravljača, posmatrani implement ima veće vreme kašnjenja i veći ugao bočnog zanošenja, prema traktoru, na osnovu poređenja rezultata na Graf. 3d.

ZAKLJUČAK

Zbog svoje univerzalne namene poljoprivredni traktor se u toku radnog veka, spreže sa mašinama i uređajima različitih mehaničkih i funkcionalnih svojstava. Dinamičke karakteristike ovako formiranih traktorskih sistema bitno utiču na njihovo racionalno korišćenje, dakle, učinak i kvalitet rada. U tom smislu savremena poljoprivredna proizvodnja zahteva povećanu preciznost obavljanja radnih operacija. Značajan doprinos pri tome, uz primenu savremenih traktora i implemenata, sa komponentama aktivne, automatske kontrole, pružaju i sistemi podršku rada GPS. Poznavanje baznih dinamičkih karakteristika formiranih traktorskih sistema je pretpostavka za uspešno korišćenje sistema podrške.

LITERATURA

- [1] Barskij, I., 1973. *Dinamika traktora*. Mašinstroenie.
- [2] Wong, J ., 1995. *Theory of ground vehicles*. John Wiley & Sons, New York.
- [3] Radonjić, R., Radonjić, D., 1998. *Projektovanje sistema za upravljanje traktora s obzirom na upravljačko dejstvo vozača*. Traktori i pogonske mašine, br.4, Novi Sad.
- [4] Radonjić, R., Radonjić, D., 2002. *Analiza stabilnosti kretanja skupa, traktor – priključno vozilo*. Traktori i pogonske mašine , Vol. 5, N_o 3/4, str. 78 – 83.
- [5] Radonjić, R., 2004. *Stabilnost traktora*. Traktori i pogonske mašine, Vol. 9, No 4, str. 43-47.
- [6] Radonjić, R., 2003. *Stabilnost sistema, traktor - priključno vozilo sa cisternom*. Traktori i pogonske mašine, Vol. 7, N_o 4, str. 104 – 108.
- [7] Radonjić, R., 2008. *Uporedna istraživanja savremenih sistema za pripremu sena*. Traktori i pogonske mašine, Vol. 13, N_o 2, str. 20 – 26.
- [8] Gligorević, K., Oljača, M., Ružičić, L., Radojević, R., Pajić, M ., 2007. *Uticaj elektronskih sistema na stabilnost vanputnih vozila*. Poljoprivredna tehnika, 2007, br. 3. str. 25-32.
- [9] Radonjić, R., 2007. *Razvoj softvera za simuliranje procesa obrade zemljišta*. Poljoprivredna tehnika, 3, str. 19-24.
- [10] JOHN DEER, CASE, CLAAS, FENDT., 2010, 2011, *prospektni materijal*.

THE INFLUENCE OF AGRICULTURAL TRACTOR DYNAMICS TO ITS RATIONAL APPLICATION

Aleksandra Janković, Rajko Radonjić, Đorđe Antonijević, Dragoljub Radonjić

Faculty of Engineering Sciences - Kragujevac

Abstract: In this paper the problems of the agricultural tractor dynamics with respect to its working efficiency are discussed. The typical tractor systems selected according to working tasks, component connections, their own interaction, as well interaction to soil condition are analyzed. In this sense a generalized tractor systems simulation model has been formed and used. The illustrative results are presented and discussed as the significant base to application of active control components and GPS support.

Key words: *tractor, system, dynamics, efficiency, generalized model, simulation.*

Datum prijema rukopisa: 07.11.2011.
Datum prijema rukopisa sa ispravkama: 11.11.2011.
Datum prihvatanja rada: 18.11.2011.