

UDK: 631.3

DINAMIČKE KARAKTERISTIKE TRAKTORA U FUNKCIJI RADNIH ZADATAKA I ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Rajko Radonjić

*Mašinski fakultet - Kragujevac
rradonjic@kg.ac.rs*

Sadržaj: Zavisno od poljoprivredne operacije i korišćenih priključnih uređaja traktor obavlja različite zadatke. Pri tome, raspoloživa vučna sila je od najvećeg značaja. U ovom radu razmotreni su uticajni faktori na vučne karakteristike traktora i energetske efikasnosti. Razvijen je jedan prikladan model za analizu parametara snage motora i potrošnje goriva, takođe je formiran simulacioni model i korišćen za istraživanje karakteristika traktora pri nestacionarnom kretanju.

Ključne reči: traktor, snaga, gorivo, vučne karakteristike, efikasnost.

UVOD

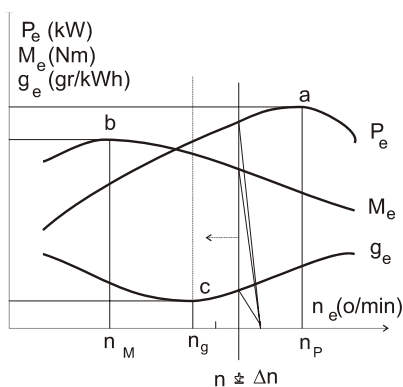
Poljoprivredni traktor je namenjen za obavljanje velikog broja radnih operacija u poljskim uslovima, ali i za transportne zadatke kako u poljskim tako i u drumskim uslovima. Pri radu sa pasivnim priključnim uređajima, bez dopunskog pogona, na primer plugovima, zastupljena je vučna funkcija traktora, dok je kod aktivnih priključnih uređaja, na primer balera, pored vučne zastupljena i pogonska funkcija traktora. U sklopu rešavanja ovih problema definišu se zadaci ocene vučno-brzinskih karakteristika traktora i mogućnosti za njihovo poboljšanje vodeći računa o brojnim uticajima: konstruktivnim parametrima traktora, posebno, pogonskog agregata – motora, interakciji kretača i tla, vrsti radne operacije, konstruktivnim parametrima priključnog uređaja, uslovima rada, obučenosti i iskustvu ljudskog operatora vozača i slično. Dakle, brojni su faktori koji utiču na vučno-brzinske karakteristike traktora, a neki od njih imaju odlike slučajnih funkcija, [1], [2], [3]

U vezu sa vučno-brzinskim karakteristikama traktora dovode se i pitanja produktivnosti rada, ekonomičnosti pogona, energetske efikasnosti, zaštite okruženja, bezbednosti i komfora rada ljudskog faktora – operatora, [4], [5]. Strogi zahtevi u ovom domenu uključeni u pravno-tehničku regulativu imali su pozitivne efekte na razvoj

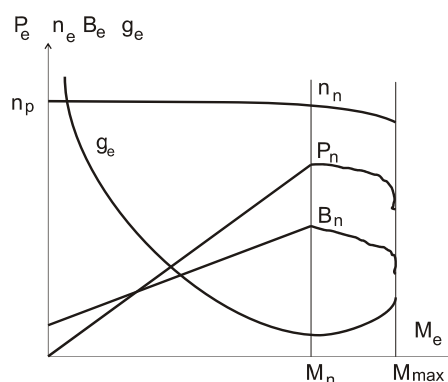
konstrukcije traktora i priključnih uređaja, [6]. Sve ovo dovodi do potrebe da se istražuju nove mogućnosti i metode analize efikasnosti korišćenja nove tehnike, a rezultati takvih analiza postaju baza za njihovu dalju optimizaciju. U ovom smislu su i sprovedena istraživanja prezentirana u narednim poglavljima.

ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA

Na vučno-brzinske dinamičke karakteristike traktora značajan uticaj ispoljavaju parametri i svojstva pogonskog agregata - motora. U ovom smislu ističu se izlazne karakteristike motora sa unutrašnjim sagorevanjem sračunate, odnosno, snimljene na zamajcu motora, kao uzajamne zavisnosti snage, P_e [kW], i parametara snage, tj., obrtnog momenta, M_e [Nm], broja obrtaja, n_e [min^{-1}], kao i pokazatelj ekonomičnosti rada motora, specifična potrošnja goriva, g_e [gr/kWh]. Na sl. 1 i 2, ilustrovane su dve mogućnosti prikaza ovih zavisnosti, kao brzinska karakteristika motora, na sl. 1, kao regulatorska karakteristika motora na sl. 2.



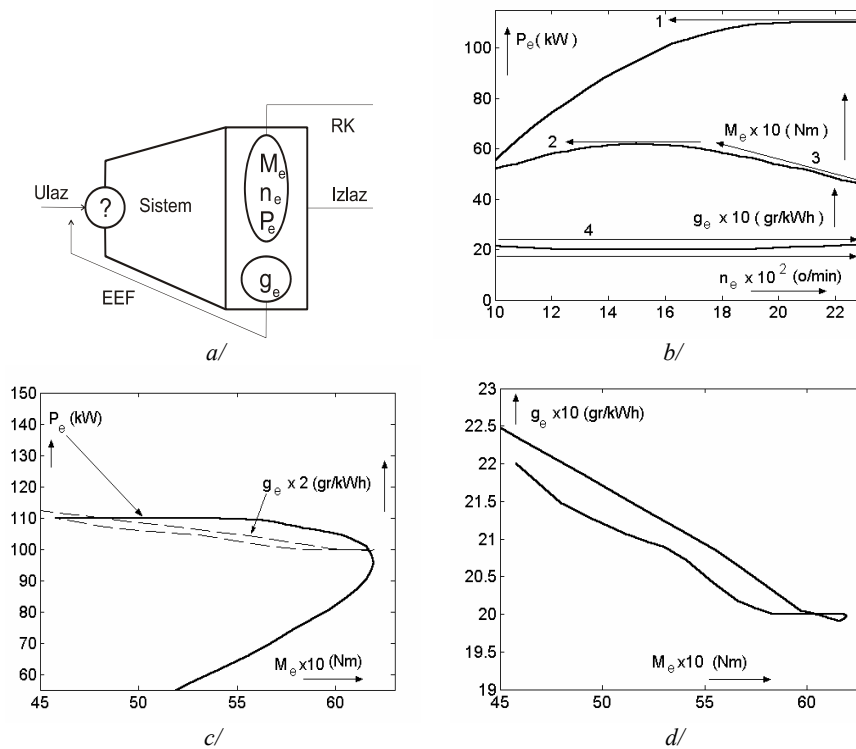
Sl. 1. Brzinska karakteristika motora



Sl. 2. Regulatorska karakteristika motora

Tokovi krivih brzinske karakteristike motora sa unutrašnjim sagorevanjem, na sl. 1, pored ostalog, karakteristične su i po tome, što se tri karakteristična režima rada motora, pri maksimalnoj snazi, tačka *a*, pri maksimalnom momentu, tačka *b*, pri minimalnoj potrošnji, tačka *c*, ostvaruju pri različitim brojevima obrtaja. Ovo je bio i razlog za primenu brojnih tehničkih rešenja regulacionih sistema kao kompromisnog usaglašavanja efekata neprikladnih karakteristika motora SUS, [7]. Jedno od tih rešenja je i primena regulatora rada motora, jednorežimskih, dvorežimskih, sverezimskih. Efekti dejstva regulatora broja obrtaja kolenastig vratila motora i tokovi tako zvane, regulatorske karakteristike, prikazani su upravo na sl. 2, kao zavisnosti, broja obrtaja, n_e , snage, P_e časovne, B_e i specifične, g_e , potrošnje goriva od obrtnog momenta na zamajcu motora, M_e . Regulator je projektovan tako da održava rad motora u domenu najmanje specifične potrošnje goriva, g_{emin} , dakle, pri režimu nominalnih parametara, M_n , B_n , P_n , n_n . Pri tome, treba istaći da P_n , predstavlja maksimalnu snagu regulatorske karakteristike za dati režim $M_n \rightarrow g_{emin}$, ali ne i maksimalnu snagu brzinske karakteristike, P_{emax} , tačka *a*, na sl. 1, pa je $P_n \leq P_{emax}$.

U vezi sa grafičkim prikazima uticajnih parametara motora, M_e , n_e , P_e , na radne karakteristike traktora, RK, i g_e , B_e , na energetska efikasnost traktora, EEF, prikazali smo i grafičku interpretaciju problema na sl. 3. Naime, za dinamički sistem motora SUS sa izlaznim karakteristikama, $M_e \rightarrow n_e \rightarrow P_e$, postavlja se zadatak adekvatnog definisanja i izbora ulaza (?). U ovom smislu se ističe parametar specifične potrošnje goriva, g_e , koga treba, iz grupe "izlaznih parametara", prevesti na ulaz sistema i uspostaviti relacije, ulaz \rightarrow izlazi, to jest, $g_e \rightarrow ((M_e, n_e) \rightarrow P_e)$, što je u relaciji sa transformacijom energije u motoru SUS: hemijska energija iz određene mase goriva, $g_e \rightarrow$ u toplotnu, ova \rightarrow u mehanički rad, $M_e, n_e \rightarrow P_e$. Prema tome, snimanjem vremenskih promena, gore navedenih veličina, pri nestacionarnim režimima, $g_e(t) \rightarrow (M_e(t), n_e(t) \rightarrow P_e(t))$, formira se baza za identifikaciju dinamičkih karakteristika motora prema gore predloženom algoritmu. Istovremeno, ovaj algoritam pruža mogućnosti za analizu stacionarnih karakteristika motora. Jedan primer je prikazan na sl. 3 b, c, d.



Sl. 3. Grafička interpretacija ulazno-izlaznih karakteristika motora

Poređenjem brzinske karakteristike jednog savremenog traktorskog motora, prikazane na sl. 3b, sa specificiranim domenima, šematski prikazanim na sl. 1, uočavaju se efekti savremene tehnologije aktivne kontrole radnih procesa motora: a/ značajan domen, $P_{e\max} \approx \text{const}$, b/ širi domen, $g_{e\min} \approx \text{const}$, c/ intenzivan porast, $M_e \rightarrow M_{e\max}$, pri porastu opterećenja motora, smanjenja broja obrtaja kolenastog vratila – dakle, povećana

elastičnost rada motora po obrtnom momentu i broju obrtaja. Isticanje ovih svojstava je još adekvatnije na graficima, na sl. 3 c, d, formiranim prema predloženom algoritmu za stacionarne režime rada motora.

U ovom smislu, pri analizi radnih zadataka i energetske efikasnosti poljoprivrednih traktora, kako pri stacionarnim tako i nestacionarnim režimima kretanja, od značaja je raspoloživa baza podataka, način interpretacije i uvođenja pogonskih karakteristika motora u simulacione proračune. Kod klasičnog pristupa proračuna pokazatelja radnih operacija traktora koriste se regulatorske karakteristike motora, za režime kretanja sa konstantnom brzinom, a za transportne zadatke koriste se brzinske karakteristike, pri promenljivim režimima kretanja. Pri tome su uvek aktuelni zahtevi za povećanje dinamičnosti i brzine kretanja traktora u saobraćaju.

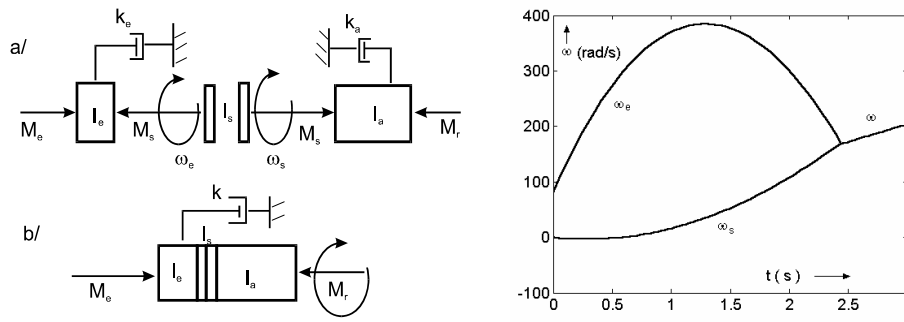
Savremene metode proračuna u relaciji sa korišćenim principima regulacije rada traktorskih agregata i sistema omogućavaju kompleksniji i efikasniji pristup baziran samo na identifikovanim brzinskim karakteristikama kao ulaznim podacima. Jedan primer proračuna promenljivog režima kretanja traktora pri polasku iz mesta i zaletu, sa klasičnom frikcionom spojnicom i stupnjevitim menjačem, prikazan je u narednom poglavlju.

MODELIRANJE PROCESA POLASKA TRAKTORA

Formirani modeli za istraživanje procesa polaska traktora prikazani su na sl. 4a, za radni režim - klizanje spojnice, sl. 4 b, radni režim -uključena spojnica. Uslovi dinamičke ravnoteže za jedan i drugi slučaj, na osnovu kojih su izvedene odgovarajuće diferencijalne jednačine, prikazani su izrazima (1a) i (1b), uz korišćenje oznaka na sl. 4 a, b, respektivno:

$$I_e^* \frac{d\omega_e}{dt} = M_e - k_e \omega_e - M_s, \quad I_a^* \frac{d\omega_s}{dt} = M_s - k_a \omega_s - M_r \quad (1a)$$

$$(I_e + I_s + I_a) \frac{d\omega}{dt} = M_e - k\omega - M_r \quad (1b)$$



Sl. 4. a,b/ Modeli frikционе spojnice i prenosa snage traktora, c/ tokovi ugaonih brzina

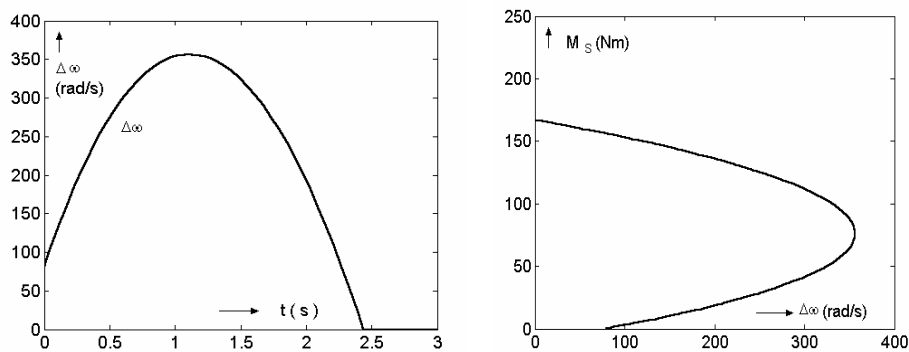
Saglasno blok šemi na sl. 4 a,b, i uvedenim oznakama, rešenja diferencijalnih jednačina (1a), predstavljaju promenljive stanja sistema u fazi klizanja, ω_e , ω_s , $\omega_e - \omega_s$. Upravljačke promenljive se formiraju dejstvom vozača na komandu za dovod goriva motoru, koja je u relaciji sa $M_e(t)$, i komandu spojnice, koja je u relaciji sa $M_s(t)$. Izlazne promenljive, v , s , R_k , su u relaciji sa promenljivim stanja:

$$v = k_i \omega_s, \quad dv/dt = k_i (d\omega_s / dt), \quad s = \int_0^{t_0} \omega_s dt, \quad R_k = \int_0^{t_0} M_s (\omega_e - \omega_s) dt \quad (2)$$

a fizički predstavljaju, brzinu, podužno ubrzanje, predjeni put traktora u fazi klizanja t_0 , kao i rad klizanja spojnice, respektivno. Isti mogu poslužiti kao pokazatelji vrednovanja ciklusa uključivanja spojnice sa aspekta zaleta traktora, v , dv/dt , s , komfora vožnje, dv/dt , pouzdanosti i veka elemenata, R_k .

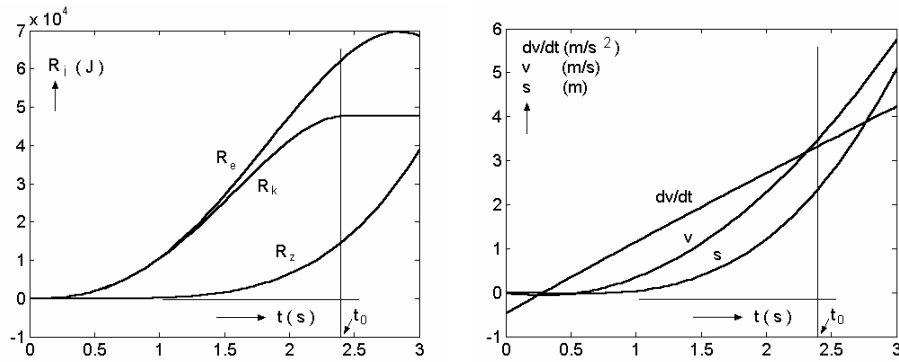
REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Priloženi rezultati na slikama 4 c, 5, 6 i 7, odnose se na simulaciju polaska traktora iz mesta. Ukupna masa traktora 3000kg, međuosno rastojanje 2.2m.

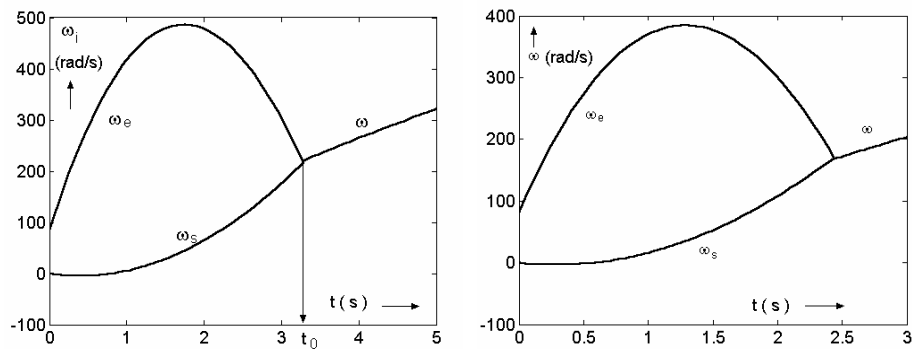


Sl. 5 a/ Brzina klizanja spojnice, b/ moment klizanja spojnice

Za date podatke, tokovi ugaonih brzina pogonskog i vođenog dela, prikazani su na sl. 4c, za radno i referentno stanje. Prema tokovima ovih krivih, to jest, njihovoj zajedničkoj tački, može se odrediti vreme klizanja, iz uslova, $\omega_e = \omega_s$, zatim, brzina klizanja, $\Delta\omega = \omega_e - \omega_s$, može se takođe, analizirati proces klizanja i zaleta traktora. Grafička zavisnost momenta klizanja od ugaone brzine klizanja, $M_s = f(\Delta\omega)$, prikazana je na sl. 5b. Slika 6a prikazuje vremensku raspodelu rada motora R_e , u fazi klizanja spojnice, na rad klizanja R_k , najveći deo, i rad zaleta vozila R_z , znatno manji deo. Na sl. 6b, prikazani su pokazatelji traktora u fazi klizanja, podužno ubrzanje dv/dt , brzina v , predjeni put s . Uticaj brzine, tempa uključivanja spojnice na pokazatelje klizanja, pokazan je na sl. 8. Tokovi krivih na sl. 8 a, odgovaraju 1.5 puta sporijem tempu uključivanja spojnice. Pri ostalim nepromenjenim uslovima i parametrima, povećan je period klizanja sa 2.5s na 3.3s a takođe i ugaona brzina klizanja. Za datu izvedbu klasične spojnice i traktora na tempo uključivanja presudnu ulogu ima vozač.



Sl. 6. Komponente rada $R_e - R_k, R_z$; pokazatelji zaleta $dv/dt, v, s$, u fazi klizanja spojnice



Sl. 7. Uticaj tempa uključivanja spojnice na pokazatelje procesa polaska traktora

ZAKLJUČAK

Poljoprivredni traktor u toku svog radnog veka obavlja različite poljoprivredne operacije i transportne zadatke. Zavisno od konkretnog zadatka i formirane radne konfiguracije, traktor izvršava funkciju vuče i/ili pogona, zavisno od toga da li je spregnut sa pasivnim ili aktivnim priključnim mašinama. Sa ovih aspekata značajne su njegove vučne dinamičke karakteristike, kao i sistem za prenos i razvođenje snage. U pogledu radnih zadataka i energetske efikasnosti traktora ključnu ulogu ima pogonski agregat – motor SUS. Način interpretacije i korišćenja baze podataka karakteristika traktorskih motora u relaciji sa primenom savremenih metoda proračuna su polaz za identifikaciju dinamičkih karakteristika traktora relevantnih za efikasno izvršavanje radnih zadataka i racionalno korišćenje energije.

LITERATURA

- [1] Sohne W.: Agricultural Engineering and Terramechanics. Journal of Terramechanics, vol. 6, N^o 4, 1969.
- [2] Roberts M.: MF 8200 tractors: take a CAN bus trip around the big new Masseys, Profi Int.99.
- [3] Kolobov G., Parfenov A.: Tjagovje karakteristiki traktorov. "Mašinstroenije", Moskva, 1972.
- [4] Wong J.: Theory of ground vehicles. John Wiley & Sons, Newyork, 1995.
- [5] Radonjić R.: Razvoj softvera za simuliranje procesa obrade zemljišta. Poljoprivredna tehnika, 3, str. 19-24, 2007.
- [6] Oljača M. i dr.: Tehnička rešenja uređaja i opreme za povećanje sigurnosti rada mobilnih mašina i traktora u poljoprivredi. Poljoprivredna tehnika, br. 1, str. 89-100, 2008.
- [7] Krutov V.: Dvigatelj vnutrenego sgoranija kak regulirzemij objekt. "Mašinstroenie", Moskva, 1978.

TRACTOR DYNAMICAL CHARACTERISTICS IN RELATION TO WORKING TASKS AND ENERGY EFFICIENCY

Rajko Radonjić

*Mechanical Faculty - Kragujevac
rradonjic@kg.ac.rs*

Abstract: Depending on the agricultural operation and used implements, tractor perform different tasks. Therefore, tractor drawbar pull is of prime importance. In this paper influencing factors on the tractor tractive performance and energy efficiency are considered. An appropriate model to analyse tractor engine power parameters and fuel consumption is developed. Also, a simulation model is formed and used to investigate of the tractor unsteady driving performance.

Key words: tractor, power, fuel, tractive performance, efficiency.