

Bibliid: 0350-2953(2009)35: 1-2, 111-117
UDK:631.372:17.023.35:332.053:621.3.016

Originalni naučni rad
Original scientific paper

FORMIRANJE MATEMATIČKOG MODELA ZA PRORAČUN STEPENA KORISNOSTI TRAKTORA TOČKAŠA

TRACTIVE EFFICIENCY COEFFICIENT CALCULATIONS OF A WHEELED TRACTOR

Dedović N, Matić Kekić Snežana, Simikić M, Nikolić R, Savin L.*

REZIME

U radu je ispitivana zavisnost vučnog koeficijenta korisnog dejstva traktora točkaša od brzine kretanja traktora i klizanja točkova pri centralnoj vuči na strnjici. U tu svrhu formirani su matematički modeli zavisnosti navedenih veličina i dat je algoritam koji za poznatu težinu traktora i nominalnu snagu motora, daje vučni koeficijent korisnog dejstva traktora u zavisnosti od brzine kretanja traktora i klizanja točkova.

Ključne reči: traktori točkaši, teorija vuče, koeficijent korisnosti, bilans snage, klizanje, brzina traktora.

SUMMARY

The analysis of tractive efficiency coefficient dependence on wheeled tractor speed and slippage was given in this paper. There were examined one soil type (stubble) and central pull. It were also given mathematical models of examined dependence and algorithm which gave a tractive efficiency coefficient dependence of wheeled tractor speed and slippage.

Key words: wheeled tractors, pull theory, efficiency coefficient, power balance, slippage, tractor speed.

UVOD

Poljoprivredni traktori su u svojoj osnovi mobilni izvor energije neophodne za obavljanje tehnoloških operacija u poljoprivredi i kao takvi treba da imaju optimalne performanse prema zahtevima, koje diktiraju agrotehnika i tehnologija u proizvodnji zdravstveno bezbedne hrane. Iskorišćenje energije goriva, kod traktora koji obavljaju agrotehničke operacije vučenim mašinama, veoma je malo. U uslovima sa većom vlažnošću i neuređenim zemljištem ovo iskorišćenje je još manje. Zato je veoma važno da se gubici snage što više smanje i da se poveća energetska efikasnost traktora (Simikić, 2007). Efikasnost traktorskog sistema gde se vučna snaga traktora predaje priključnoj mašini preko poteznice izražava se vučnim koeficijentom korisnog dejstva traktora (Upadhyaya, 1994).

* Mr Neboša Dedović, asistent, dr Snežana Matić Kekić, vanredni profesor, mr Mirko Simikić, asistent, dr Ratko Nikolić, redovni profesor, dr Lazar Savin, docent, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8, dedovicn@polj.ns.ac.yu

Na vučni koeficijent korisnog dejstva traktora utiču brojni faktori (vrsta i stanje podloge, masa i raspodela opterećenja, pritisak u pneumaticima, ekscentrična i kosa vuča).

U radu će biti istražena zavisnost vučnog koeficijenta korisnog dejstva traktora od brzine kretanja traktora i klizanja točkova na strnjici, pri centralnoj vuči.

MATERIJAL I METOD

Matematički modeli dobijeni su primenom nelinearne regresione analize. Zadatak regresione analize obuhvata:

izbor oblika regresione funkcije $f(x_1, x_2, \dots) = \varphi(\beta_1, \beta_2, \dots, x_1, x_2, \dots)$, gde su β_1, β_2, \dots regresioni koeficijenti, a x_1, x_2, \dots nezavisne promenljive;

ocenjivanje regresionih koeficijenata β_1, β_2, \dots , odnosno određivanje njihovih približnih vrednosti b_1, b_2, \dots , tako da regresiona jednačina $f^*(x_1, x_2, \dots) = \varphi(b_1, b_2, \dots, x_1, x_2, \dots)$ predstavlja što bolju aproksimaciju regresione funkcije $f(x_1, x_2, \dots)$. Koeficijenti b_1, b_2, \dots nazivaju se empirijski regresioni koeficijenti;

statističku analizu dobijene jednačine: preciznost predskazivanja, intervali poverenja regresionih koeficijenata itd.

Da bi se definisala opšta mera jačine veze između nezavisnih promenljivih i zavisne promenljive određujemo koeficijent determinacije (R^2), koji opisuje prilagođenost dobijene krive izmerenim podacima. Za koeficijent determinacije važi $0\% < R^2 < 100\%$. Ako je, recimo, koeficijent determinacije jednak 85%, to znači da dobijen matematički model, a time i kriva, opisuje 85% nekog procesa.

Interval poverenja daje potpuniju informaciju koliko dobijeni empirijski regresioni koeficijenti odstupaju od svoje srednje vrednosti. Interval (a_1^*, a_2^*) je interval poverenja za parametar a sa nivoom poverenja γ , ako s unapred zadatom verovatnoćom γ , možemo da tvrdimo da sadrži tačnu vrednost a , odnosno ako važi $P(a_1^* < a < a_2^*) = \gamma = 1 - \alpha$. Veličina $\alpha = 1 - \gamma$ predstavlja verovatnoću da tačna vrednost empirijskog regresionog koeficijenta bude izvan procenjenog intervala poverenja i naziva se rizik (greška). Što je širina intervala (a_1^*, a_2^*) manja, preciznost intervalne ocene je manja. Ukoliko je nivo poverenja γ viši, odnosno rizik α da tačna vrednost empirijskog regresionog koeficijenta bude izvan intervala poverenja manji, utoliko će interval poverenja dobijen iz nekog uzorka obima n biti širi, tj. preciznost ocene veća. Pomoću *t-testa* (Pantelić, 1984, Hadžić i Takači, 1998) proverava se značajnost regresionih koeficijenata, odnosno da li su dobijeni koeficijenti značajni za postavljeni model. Testira se hipoteza $H_0(b_i=0)$ naspram hipoteze $H_1(b_i \neq 0)$. Drugim rečima, testiramo hipotezu da li je empirijski regresioni koeficijent $b_i=0$, što bi značilo da nije značajan, protiv hipoteze da je $b_i \neq 0$, što bi značilo da jeste značajan. Dobija se vrednost za $t_{izračunato}$ i ako je ona veća od vrednosti za t_{tabelu} u tabeli za Studentovu *t*-raspodelu, tada odbacujemo hipotezu H_0 , što bi značilo da je koeficijent b_i značajan za posmatrani model. U suprotnom, koeficijent b_i možemo da zamenimo nulom u posmatranom modelu. Pomoću *F-testa* (Pantelić, 1984, Hadžić i Takači, 1998) utvrđuje se značajnost kumulativnog uticaja posmatranih faktora na zavisnu promenljivu u predstavljenom modelu, odnosno, da li je postavljeni model značajan. Testira se hipoteza $H_0(R^2=0)$, odnosno da model nije značajan, naspram hipoteze $H_1(R^2 \neq 0)$ što bi značilo da je model značajan. Dobija se vrednost za $F_{izračunato}$ i ukoliko je ona veća od vrednosti za F_{tabelu} u tabeli za Fišerovu *F*-raspodelu, tada odbacujemo hipotezu H_0 , što bi značilo da je posmatrani model značajan sa koeficijentom determinacije R^2 . U suprotnom, treba izabrati drugi matematički model.

REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Vučni koeficijent korisnog dejstva traktora η_v , predstavlja stepen iskorišćenja snage motora i definiše se kao:

$$\eta_v[\%] = \frac{P_{pot}}{P_e} \cdot 100, \quad (1)$$

gde je: P_e efektivna snaga motora izražena u [kW], a P_{pot} snaga na poteznici, takođe, izražena u [kW]. Snaga na poteznici se definiše preko:

$$P_{pot}[kW] = \frac{F_{pot} \cdot v_s}{1000}, \quad (2)$$

gde je: F_{pot} vučna sila na poteznici izražena u [N], a v_s stvarna brzina kretanja traktora izražena u [m/s]. Vučna sila će se računati prema formuli (3):

$$F_{pot}[N] = \varphi_n(\delta) \cdot G_d, \quad (3)$$

gde je: $\varphi_n(\delta)$ koeficijent neto vuče u zavisnosti od klizanja točkova (δ); G_d predstavlja dinamičku težinu traktora u [N].

U doktorskoj disertaciji, Stjelja (2002), ispitivane su vučne karakteristike traktora točkaša standardne koncepcije 4x4 S, na strnjici. Koristeći se podacima o klizanju točkova, brzini traktora i odgovarajućim koeficijentima neto vuče, primenom nelinearne regresije, došlo se do međusobne zavisnosti posmatranih veličina, formule (4) i (6). Formula (4) predstavlja zavisnost brzine kretanja traktora od klizanja točkova. Ocene regresionih koeficijenata b_1 i b_2 date su u tabeli 1.

$$v_s(\delta) = -b_1 \cdot \delta \cdot 100 + b_2 \quad (4)$$

Tab. 1. Ocena regresionih parametara matematičkog modela (6)

Tab. 1. Estimation of regression parameters of the mathematical model (6)

Nivo poverenja: 95,0% ($\alpha = 0,05$), Level of confidence: 95.0% ($\alpha = 0.05$), Koeficijent determinacije: R2 = 99,25%, Determination coefficient: R2 = 99.25%				
	Ocena, Estimation	t-test, t-test	F – test, F - test	Interval poverenja, Confidence interval
b1	0,012878	23,0461*	24750,86*	(0,011326 , 0,014429)
b2	1,626649	144,2922*		(1,595350 , 1,657949)

* visoko značajni parametri za prag značajnosti $\alpha = 0,05$

* highly significant parameters for significance level $\alpha = 0.05$

Iz formule (4) lako može da se nađe zavisnost klizanja točkova od brzine kretanja traktora, formula (5).

$$\delta(v_s) = \frac{b_2 - v_s}{b_1 \cdot 100} \quad (5)$$

Na osnovu modela zavisnosti koeficijenta neto vuče od klizanja (Nikolić et. al, 2007) dobijen je matematički model zavisnosti, prikazan u formuli (6). Ocene regresionih parametara matematičkog modela (6) date su u tabeli 2.

$$\varphi_n^s(\delta) = b_3 - b_4 \cdot e^{-b_5 \cdot \delta \cdot 100} \quad (6)$$

Tab. 2. Ocena regresionih parametara matematičkog modela (6)

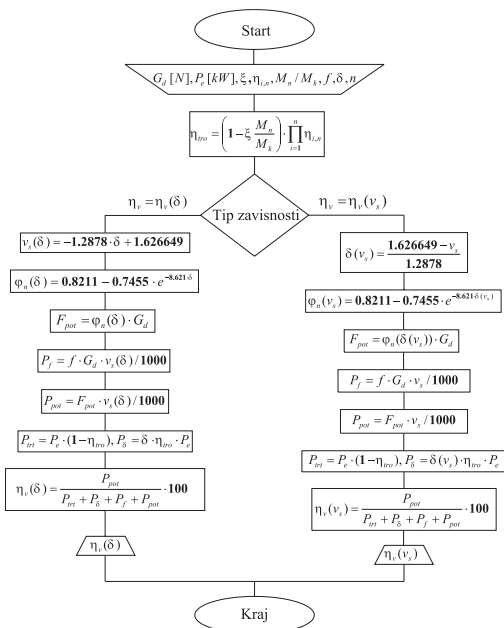
Tab. 2. Estimation of regression parameters of the mathematical model (6)

Nivo poverenja: 95,0% ($\alpha = 0,05$), Level of confidence: 95.0% ($\alpha = 0,05$), Koeficijent determinacije: $R^2 = 98,13\%$, Determination coefficient: $R^2 = 98.13\%$				
	Ocena, Estimation	t-test, t-test	F - test, F - test	Interval poverenja, Confidence interval
b_3	0,821135	28,013*	1352,801*	(0,757269 , 0,885002)
b_4	0,745498	21,792*		(0,670963 , 0,820032)
b_5	0,086210	7,2927*		(0,060453 , 0,111967)

* visoko značajni parametri za prag značajnosti $\alpha = 0,05$

* highly significant parameters for significance level $\alpha = 0.05$

Algoritam za izračunavanje vučnog koeficijenta korisnog dejstva traktora za različite tipove zemljišta



Sl. 1. Algoritam za izračunavanje vučnog koeficijenta korisnog dejstva traktora točkaša

Fig. 1. Calculation of tractive efficiency coefficient of wheeled tractor, algorithm

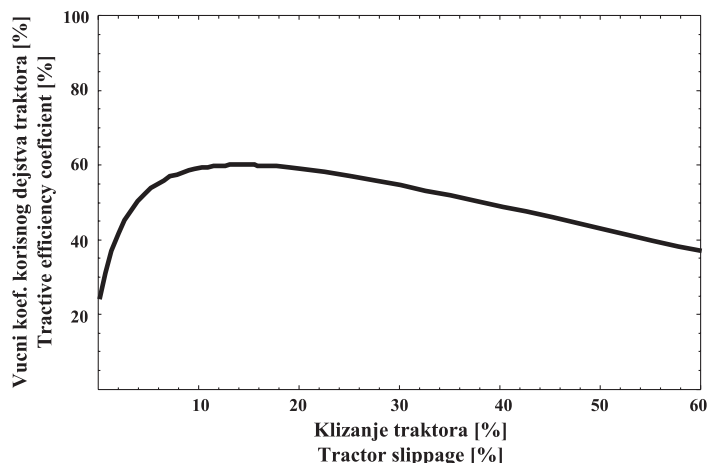
U opisu algoritma biće korišćene oznake kao u radu Nikolić et. al (2007). Ulazni podaci algoritma su dinamička težina traktora (G_d), efektivna snaga motora (P_e), koeficijent učešća momenta na praznom hodu od nominalnog momenta (ζ), koeficijent korisnosti i -tog para zupčanika u transmisiji ($\eta_{i,n}$), gde je n broj parova zupčanika, nominalni moment (M_n) i moment koji se prenosi (M_k), koeficijent otpora kretanja (f) koji zavisi od tipa podloge (za strnjiku $f=0,084$ (Nikolić, 1983)) i klizanje točkova (δ).

Ako je potrebno da se dobije vučni koeficijent korisnog dejstva traktora η_v u funkciji od klizanja (δ) i brzine kretanja traktora (v_s), tada u algoritam ne treba da se unese vrednost za klizanje δ . Veličine koje se još koriste u algoritmu su i P_f (gubitak snage na sopstveno kretanje), P_{tr} (gubitak snage na transmisiji do pogonskih točkova) i P_δ (snaga izgubljena na klizanje). Koeficijent korisnosti transmisije u funkciji opterećenja (η_{tro}) računa se prema formuli:

$$\eta_{tro} = \left(1 - \zeta \frac{M_n}{M_k}\right) \cdot \prod_{i=1}^n \eta_{i,n} \quad (7)$$

Na osnovu formule (7), dobijena je vrednost za $\eta_{tro} = (1 - 0,04/0,8) \cdot 0,985 \cdot 0,985 \cdot 0,975 \cdot 0,975 \cdot 0,975 = 0,8543$ (dva para konusnih i tri para cilindričnih zupčanika). Usvojeno je da se prenosi 80% nominalnog momenta ($M_n/M_k = 1/0,8$) i da je $\zeta=0,04$. Da bi se dobio grafik na slici 2, korišćeno je $P_e=120$ kW i $G_d= 7348 \cdot 9,81$ N.

Slika 2 predstavlja zavisnost vučnog koeficijenta korisnog dejstva traktora od klizanja točkova. Maksimalna korisnost dostiže pri klizanju $\delta = 13,97\%$ (tabela 3).



Sl. 2. Strnjika, centralna vuča, zavisnost koef. korisnog dejstva traktora od klizanja
 Fig. 2. Stubble, eccentric pull, tractive efficiency coefficient dependence of slippage

Uvrštavanjem $\delta = 13,97\%$ u formulu (4), zaključujemo da se pri brzini $v_s = 1,447$ m/s dostiže maksimalni vučni koeficijent korisnog dejstva traktora (tabela 3) i on iznosi 60,57%. Dobijeni podaci su u skladu sa istraživanjima iznetim u Nikolić et. al (1994) i Nikolić et. al (2007).

Tab. 3. Maksimalni vučni koeficijent korisnog dejstva traktora η_v Tab. 3. Maximal tractive efficiency coefficients η_v

Tip zemljišta, Soil type	η_v	Pri klizanju At slippage	Pri brzini At speed
Strnjika, Stubble	$\eta_v = 60,57 \%$	$\delta = 13,97 \%$	$v = 1,447 \text{ m/s}$

ZAKLJUČAK

U radu su prikazani matematički modeli zavisnosti vučnog koeficijenta korisnog dejstva traktora od ulaznih parametara algoritma, a to su: dinamička težina traktora, efektivna snaga motora, koeficijent učešća momenta na praznom hodu od nominalnog momenta, koeficijent korisnosti i -tog para zupčanika u transmisiji, broj parova zupčanika, nominalni moment, moment koji se prenosi, koeficijent otpora kretanja i klizanje točkova. Korišćenjem algoritma dolazi se do podatka o stepenu korisnosti motora, pri određenoj brzini ili pri određenom klizanju. Ako se izostavi neki od ulaznih parametara, dobija se funkcija vučnog koeficijenta korisnog dejstva traktora u zavisnosti od izostavljenih parametara. Ovaj bazni model za izračunavanje centralne vuče, može da posluži za formiranje drugih modela, kao što su model za izračunavanje kose vuče, ekscentrične vuče, preraspodele opterećenja itd. Matematičke operacije i grafici obrađeni su u programskom paketu Mathematica 5 (Wolfram, 1991, Krejić i Herceg, 1994), dok je statistička obrada urađena u paketu Statistica 7.

LITERATURA

- [1] Babić M, Babić Ljiljana, Matić Kekić Snežana, Pavkov I, Karadžić B. 2005. Održivi energetski model proizvodnje sušenog voća kombinovanom tehnologijom. *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi*, PTEP 9(5): 109-118.
- [2] Bodroža Pantić Olga, Matić Kekić Snežana, Jakovljević B, Marković Đ. 2007. On MTE-model of mathematics Teaching - Studying the Problem Related to a Plane Division Using the MTE-model. *International Journal of Mathematical Education in Science and Tehnology Taylor&Francis Inc, UK* 39(2): 197-213.
- [3] Dedović N, Matić Kekić Snežana. 2008. Milk production – basic mathematical model. In *Proc. Second Joint PSU - UNS International Conference on BioScience: Food, Agriculture and Environment*, Novi Sad, June, 2008.
- [4] Hadžić Olga i Đurđica Takači. 1998. *Matematika za studente prirodnih nauka*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet.
- [5] Jordan D W, Smith P. 1997. *Mathematical Techniques, An introduction for engineering, physical, and mathematical sciences*, Second edition. Oxford: University Press.
- [6] Krejić Nataša, Herceg Đ. 1994. *Matematika i Mathematica*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet.
- [7] Matić Kekić Snežana. 2003. *Privredna matematika za studente bioloških smerova*. Novi Sad. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.
- [8] Matić Kekić Snežana. 2006. Optimalan ugao solarnog kolektora u odnosu na vertikalnu. *Letopis naučnih radova Poljoprivrednog fakulteta* 30(1): 161-168.
- [9] Nikolić R. 1983. Optimizacija parametara poljoprivrednih traktora u cilju određivanja racionalnog sastava mašinskog parka. Ph.D. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

- [10] Nikolić R, Furman T, Počuča P. 1980. Vučne karakteristike poljoprivrednih traktora na pooranom zemljištu. *Savremena poljoprivredna tehnika* 3(6): 139-149.
- [11] Nikolić R, Savin L, Furman T, Tomić M, Gligorić Radojka, Simikić M. 2007. Teorija vuče i koeficijent korisnosti pogonskog točka. *Traktori i pogonske mašine* 12(4): 37-47.
- [12] Nikolić R, Počuča P, Furman T, Gligorić Radojka, Oparnica S, Ivančević S. 1994. *Vučne karakteristike poljoprivrednih traktora*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
- [13] Pantelić I. 1980. *Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta*. Novi Sad: Radnički univerzitet "Radivoj Čirpanov".
- [14] Pantelić I. 1984. *Primena statističkih metoda u istraživanjima i procesima proizvodnje*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.
- [15] Simikić M. 2007. Uticajni faktori na koeficijent korisnosti traktora točkaša, *Traktori i pogonske mašine* 12(4): 47-54.
- [16] Stjelja Ž. 2002. Upotrebnii kvalitet traktora guseničara sa stanovišta mogućnosti poboljšanja vučnih karakteristika, Ph.D. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
- [17] Upadhyaya S K. 1994. *How to get the most from radial ply tires, a guide to select correct inflation pressure*. California: Energy Commision.
- [18] Wolfram S. 1991. *Mathematica A System for Doing Mathematics by Computer*. Second Edition: Illinois, USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Wolfram Research.

NAPOMENA: Ovaj rad je proistekao iz rezultata rada na projektu TR-20078 „Unapređenje energetske i ekološke efikasnosti traktora i mobilnih sistema“, koji je finansiran od Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Primljeno: 15.01.2009.

Prihvaćeno: 22.01.2009.