

Bibliid: 0350-2953 (2015) 41(3): 155-164

UDK: 631.372

Originalni naučni rad
Original scientific paper

**UTICAJ KONFIGURACIJE TRAKTORA NA KVALITET VOĐENJA
PRIKLJUČNE MAŠINE U ŠABLONU PARALELNIH PROHODA-TEORIJSKA
ANALIZA**
**THE INFLUENCE OF TRACTOR CONFIGURATION ON MACHINE
GUIDANCE ERROR UNDER PARALLEL TRACKING PATTERN-
THEORETICAL ANALYSIS**

Marko Kostić, Nebojša Dedović, Lazar Savin, Snežana Matić-Kekić

Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 8, Novi Sad.

e-mail: markok@polj.uns.ac.rs

REZIME

U radu je urađena teorijska analiza uticaja karakterističnih dimenzija odabranih traktora na kvalitet ručnog vođenja agregata po parceli. Težište analize se odnosilo na matematičko simuliranje odstupanja tačke prikopčavanja za različite traktore u odnosu na idealnu liniju vođenja za definisane početne uslove. Za potrebe simulacije odabrana su dva traktora standardne koncepcije i to JD 8285R i Case MX 285 Magnum, kao i dva zglobna traktora JD9330 i Case STX 275. Simulirana su odstupanja GPS antene kao i radne brzine, a na osnovu izvedenih matematičkih modela dobijeni su rezultati o odstupanju tačke prikopčavanja koji su međusobno upoređivani prema proizvođaču i koncepciji. Prema razultatima unakrsnog poređenja, zaključeno da je traktor JD8285R u odnosu na traktor CASE MX275 Magnum, za ista početna odstupanja GPS antene, ima manje odstupanje tačke kačenja od idealne putanje vođenja. Kod koncepcije zglobnih traktora, manje odstupanje dobijeno je kod traktora Case STX 275 u odnosu na traktor JD9330. Generalni zaključak ovog istraživanja je taj da se sa povećanjem razdaljine GPS antene u odnosu na tačku kačenja na traktoru, eventualno odstupanje od idelane putanje smanjuje i obrnuto.

Gljučne reči: GPS, navigacija, ručno vođenje, traktor

1. UVOD

Precizna poljoprivredna proizvodnja, kao opšte prihvaćena paradigma, podrazumeva da se upravljanje prostornim resursima parcele obavlja racionalno, na osnovu preciznih informacija o ključnim parametrima proizvodnje, a da se mere primenjuju varijabilno, shodno prethodno utvrđenom stanju. U tom smislu, upotreba

informacija u preciznoj poljoprivredi ima drugačiji karakter u poređenju sa tradicionalnom. Za kvalitetnu primenu precizne poljoprivrede, neophodno je raspolagati sa što većom količinom podataka sa poznatim „geografskim poreklom“. Podaci ne moraju *a priori* biti numerički sa visokom tačnošću. Informaciona vrednost podataka u preciznoj poljoprivredi zasniva se na njihovoj prostornoj gustini i relativnoj preciznosti. Iako ideja o unapređenju poljoprivrede po principima precizne poljoprivrede datira još od 80-tih godina prošlog veka (Robert, 1999), prihvatanje ovog koncepta u punoj meri nije bilo realno sve do 2000. godine. Tada je, po direktivi tadašnjeg američkog predsednika iz 1996. godine, ukinuta tzv. „selektivna dostupnost“ GSP signala (Han et al., 2004). Time je praktično počela era masovne implementacije GPS prijemnika u različite oblasti ljudske delatnosti. U okvirima precizne poljoprivrede, GPS ima višestruku primenu i to:

- * premeravanje parcele i lociranje objekata na parceli,
- * za lociranje kontrolnih tačaka prilikom uzorkovanja zemljišta,
- * kontrola useva,
- * daljinske detekcije,
- * promenljivu aplikaciju repromaterijala (seme, đubre, pesticid) shodno mapi preporuke,
- * mapiranje prinosa tokom operacije žetve i
- * navođenje samohodnih mašina prema definisanom šablonu.

Od svih gore pomenutih mogućnosti, najviše su u praksi zastupljeni sistemi za navigaciju mašina po parceli. Prema podacima iz 2007. godine, od strane autora Whipker i Akridge (2007), u SAD-u čak 82% od ukupnog broja anketiranih poljoprivrednika je koristilo ili koristi neki vid navigacionog GPS uređaja tokom aplikacije inputa. Razlozi su krajnje praktični: veoma jednostavno se uvodi u postojeći sistem bez neophodnih mera prilagodavanja mašina; korisnici se lako navikavaju na upotrebu jer nisu potrebne posebne veštine; i iznad svega to su ekonomski efekti zbog smanjenja utroška energenata i povećanja učinka usled smanjenja površine koja se višestruko tretira, smanjenje zamora rukovaoca, omogućava rad u uslovima smanjene vidljivosti (magla, noć, velika prašina). Pored gore pomenutog, GPS u interakciji sa GIS-om je omogućio kvalitetnije praćenje procesa degradacije poljoprivrednog zemljišta (Kostić et al., 2013; Van Bergeijk et al., 2001, Hanquet et al., 2004) uz korišćenje različitih „on-the-go“ sistema proksimalne detekcije prikazani u preglednim radovima autora Hemmat i Adamchuk (2008) i Adamchuk et al. (2004).

Potreba za navođenjem mašina javila se još pre više 100 godina kada su korišćeni primitivni mehanički sistemi za vođenje po izabranoj putanji (Adamchuk, 2008). Sa pojavom širokozahvatnih mašina (preko 3 m), potreba za pravilnim vođenjem mašina po parceli se dodatno osnažila. Prema stepenu automatizacije, navigacija poljoprivrednih mašina može biti sa ručnom korekcijom pravca uz vizuelnu podršku na displeju ili LED panelu i automatsko vođenje nezavisno od rukovaoca. Pored još uvek visoke cene najtačnijih sistema, uključujući opremu i godišnju pretplatu za korišćenje odabranog sistema, problem predstavljaju greške koje se pri pozicioniranju dešavaju (Gavrić i

Martinov, 2006). Greške u određivanju globalne pozicije prijemnika jeste ključan element za primenu GPS-u pojedinim operacijama u poljoprivredi. Ako se izuzme tačnost samog uređaja odnosno korekcionog signala (DGPS), greške u lociranju nastaju kao posledica više faktora kao što su greške u prenosu efemeris podataka satelita, greške satelitskog sata, konstelacija satelita iznad prijemnika, izobličenja signala pri prolasku kroz jonosferu i troposferu i pojave simetričnih signala usled refleksije od objekata. Kada se govori o sistemima za navigaciju poljoprivrednih mašina, pod pojmom greške podrazumeva se maksimalno poprečno odstupanje trenutne linije vođenja od izabrane (Adamchuk et al., 2007) u periodu između dva prohoda (*pass-to-pass*). Važnost provere dinamičke i statičke tačnosti uređaja za navigaciju u poljoprivredi potvrđuju studije više autora (ION, 1997; Stombaugh et al., 2002; Han et al., 2004; Taylor et al., 2004; Borgelt et., al., 1996; Adamchuk et al., 2007; Stoll i Kutzbach, 2000, Al-Gaadi i Ayers, 1998). Drugi autori (Gomez-Gil et al., 2013; Gomez-Gil et al., 2011) razvijali su metodologiju za unapređenje preciznosti postojećih GPS uređaja.

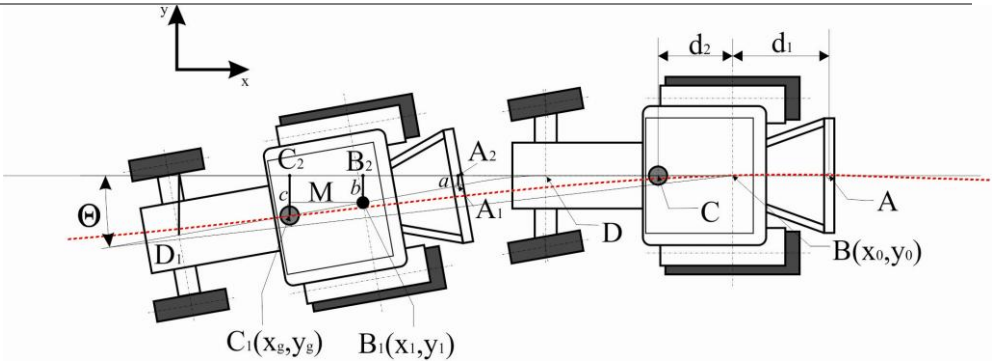
Na dinamiku GPS navođenja mašina po parceli, pored tačnosti prijemnika ima i konfiguracija terena kao i geometrija mašine koja se navodi (traktor, kombajn, samohodne mašine) što je Adamchuk et al. (2007) istakao u svojim navodima.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada je da se uz primenu relativno jednostavnih matematičkih alata, prikaže kako konfiguracija traktora utiče na osetljivost sistema tokom ručnog vođenja kod primene GPS navigacije, a time i na pojavu odstupanja radne mašine od idealne putanje.

3. MATERIJAL I METOD

U radu je urađena teoretska analiza uticaja položaja GPS priemnika u odnosu na karakteristične dimenzije traktora. Za konkretni prikaz rezultata su metodom slučajnog izbora odabrana četiri traktora, od kojih su dva standardne koncepcija, a ostala dva zglobne. Za formiranje matematičkih modela i njihov grafički prikaz, korišćen je programski paket *Mathematica 6* (Wolfram, 2011). Autori Kostić et al. (2013) koristili su isti programski paket u modeliranju matematičkih funkcija promene nagiba traktora u zavisnosti od konfiguracije i dubine obrade. U teoretskom razmatranju odrediće se matematički model koji opisuje funkciju promene položaja odstupanja tačke prikopčavanja mašine na traktor u odnosu na poznato odstupanje GPS prijemnika i karakterističnih dimenzija traktora (sl. 1).



Sl. 1. Shematski prikaz pomenosti traktora od idealne putanje vođenja
Fig. 1. Theoretical approach of tractor guidance error

Neka su sa $B(x_0, y_0)$ označene koordinate centra zadnjeg pogonskog mosta traktora, sa d_1 udaljenost tačke prikopčavanja priključne mašine od sredine zadnje osovine, sa d_2 udaljenost centra zadnjeg mosta do pozicije GPS antene. Neka se traktor kreće brzinom u . Nakon vremenskog koraka $\Delta\tau$ sa $B_1(x_1, y_1)$ označićemo koordinate centra zadnjeg mosta, sa c udaljenost GPS antene od idealne putanje vođenja, sa b udaljenost centra zadnjeg mosta od idealne putanje vođenja, sa d označeno rastojanje OA_1 , sa θ ugao kod tačke O , a sa a odaljenost tačke prikopčavanja priključne mašine od idealne putanje vođenja (videti sl. 1).

Koristeći Talesovu teoremu na trouglove OC_2C_1 i OA_2A_1 dobijamo

$$\frac{c}{d_2 + d_1 + d} = \frac{a}{d} = \sin \theta \quad (1)$$

te iz (1) sledi da je

$$a = c - (d_2 + d_1) \sin \theta. \quad (2)$$

Ako sa \dot{x} označimo izvod promenljive x po vremenu τ , tada je

$$\dot{x}_1 = -u \sin \theta \Rightarrow \frac{x_1 - x_0}{\Delta\tau} = -u \sin \theta \Rightarrow \frac{-b}{\Delta\tau} = -u \sin \theta \Rightarrow b = u \Delta\tau \sin \theta \quad (3)$$

Iz trougla B_1MC_1 sledi $|MC_1| = d_2 \sin \theta$, pa je $b = c - d_2 \sin \theta$. Sada iz (3) sledi

$$\frac{c}{d_2 + u \Delta\tau} = \sin \theta \quad (4)$$

Zamenjujući (4) u (2) dobijamo

$$a(d_2) = \frac{c(u \Delta\tau - d_1)}{u \Delta\tau + d_2} \quad (5)$$

Kako je

$$a'(d_2) = -\frac{c(u \Delta\tau - d_1)}{(u \Delta\tau + d_2)^2}$$

tada za $u \Delta\tau > d_1$ sledi da je $a'(d_2) < 0$, pa je funkcija u (5) opadajuća po promenljivoj d_2 , što implicira da veća udaljenost GPS antene od centra zadnjeg mosta

izaziva smanjenje odstupanja veličine a od idealne putanje. Specifikacija dimenzija d_1 i d_2 po traktorima prikazane su u tabeli 1.

Tab. 1. Vrednosti karakterističnih dimenzija za odabrane traktore

Tab. 1. Value of characteristic dimensions for chosen tractors

Traktor/Tractor	Case STX 275	Case Magnum 275	John Deere 9330	John Deere 8285R
Koncepcija/Conception	Zglobni-Articulated	Standardni-Standard	Zglobni-Articulated	Standardni-Standard
d_1	1,391 m	1,170 m	1,405 m	1,438 m
d_2	3,207 m	1,503 m	2,760 m	1,567 m

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Za svaki traktor su napravljeni 3D površi gde su nezavisno promenljive od u_1 do u_3 i c_1 do c_3 , a zavisno promenljiva odstupanje tačke prikopčavanja od idealne putanje.

Ulazni podaci korišćeni tokom modelovanja:

1. Radne brzine ($u_1; u_2; u_3$),
2. Odstupanja GPS-a od idealne putanje ($c_1; c_2; c_3$).

Tab. 2. Varijante testa

Tab. 2. Test variants

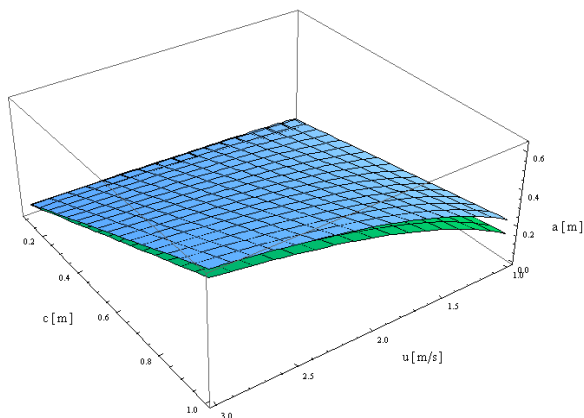
Koncepcije/Conception (a-b)		Proizvođači/Producers (I-II)
Standardna (a)	Zglobna (b)	
Ia – Magnum 275	Ib – STX 275	CASE (I)
Ila – 8285R	Ilb 9330	JOHN DEERE (II)

Tab. 3. Vrednosti parametra a za varijante testa

Tab. 3. Values of parameter a for test variants

		Test varijante Test variants				Poređenje Comparison			
c (m)	u (m/s)	Ia (cm)	Ila (cm)	Ib (cm)	Ilb (cm)	Ia-Ila	Ib-Ilb	Ia-Ib	Ila-Ilb
0,1	1	2,4	1,6	1,2	1,3	0,8	-0,1	1,2	0,3
	2	5,1	4,6	3,6	3,8	0,5	-0,2	1,5	0,8
	3	6,4	6,0	5,0	5,2	0,4	-0,2	1,4	0,8
0,5	1	11,8	7,9	5,8	6,3	3,9	-0,5	6,0	1,6
	2	25,7	23,0	18,1	19,2	2,7	-1,1	7,6	3,8
	3	32,2	30,1	25,0	26,2	2,1	-1,2	7,2	3,9
1	1	23,7	15,8	11,7	12,5	7,9	-0,8	12,0	3,3
	2	51,4	46,0	36,2	38,4	4,1	-2,2	14,3	7,6
	3	64,4	60,3	50,1	52,5	5,4	-2,4	15,2	7,8
Prosek Average		24,8	21,7	17,4	18,4	3,1	-1,0	7,4	3,3

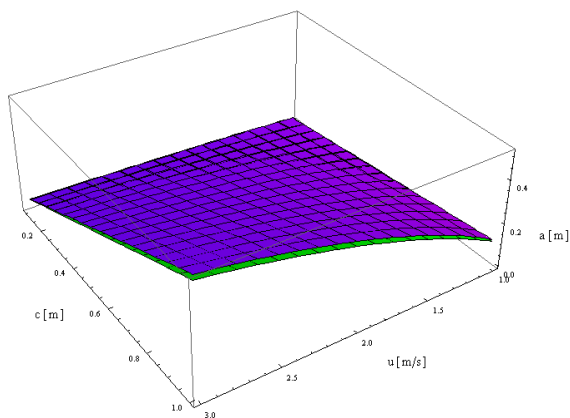
Na slici 2 prikazane su površi promene vrednosti a od parametara c i u za traktore Ia i IIa koji su standardne koncepcije. U standardnoj varijanti traktora Case i JD, manja odstupanja tačke prikopčavanja od idealne putanje su kod traktora JD, u proseku za 3,1 cm (tab. 3).



Sl. 2. Grafik funkcije a za različite traktore iste koncepcije (Ia i IIa)

Fig. 2. Chart of function a for different tractors of the same concept (Ia i IIa)

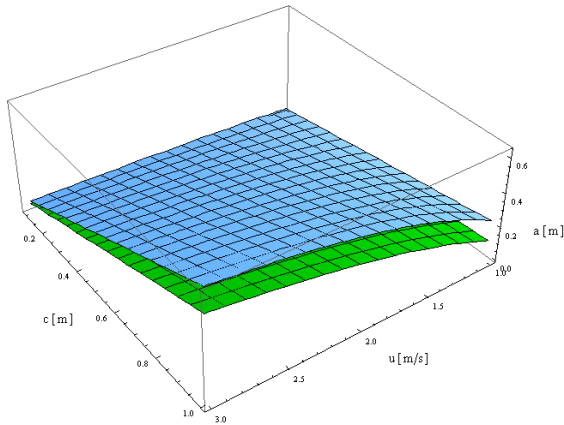
Na slici 3 prikazana je funkcija promene vrednosti a od parametara c i u za traktore Ib i IIb koji su sa zglobnom šasijom. U varijanti poređenja zglobnih koncepcija traktora Case i JD, manja odstupanja tačke prikopčavanja od idealne putanje su kod traktora Case u proseku za 1 cm (tab. 3).



Sl. 3. Grafik funkcije a za različite traktore iste koncepcije (Ib i IIb)

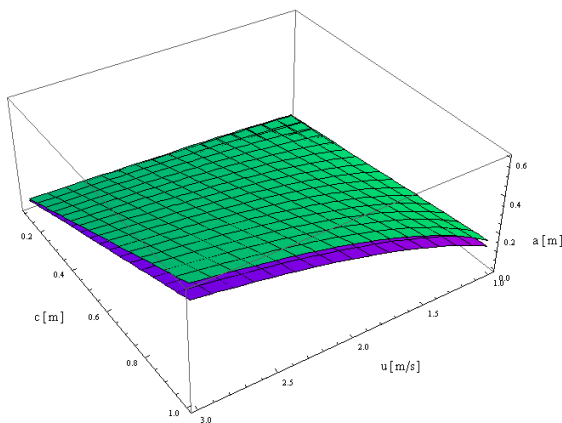
Fig. 3. Chart of function a for different tractors of the same concept (Ib i IIb)

Na slici 4 prikazane su površi promene vrednosti a od parametara c i u za traktore Ia i Ib koji su različite koncepcije. U varijanti poređenja kod traktora proizvođača Case, manja odstupanja tačke prikopčavanja od idealne putanje su kod zglobne varijante u odnosu na standardnu, u proseku za 7,4 cm (tab. 3).



Sl. 4. Grafik funkcije a za različite traktore iste koncepcije (Ia i Ib)
Fig. 4. Chart of function a for tractors of different concept (Ib i Ib)

Na slici 5 prikazana je funkcija promene vrednosti a od parametara c i u za traktore IIa i IIb koji su različite koncepcije. U varijanti poređenja kod traktora proizvođača John Deere, manja odstupanja tačke prikopčavanja od idealne putanje su kod zglobne varijante u odnosu na standardnu, u proseku za 3,3 cm (tab. 3) kao što je to bio sličaj u prethodnom razmatranju.



Sl. 5. Grafik funkcije a za različite traktore iste koncepcije (IIa i IIb)
Fig. 5. Chart of function a for tractors of different concept (IIa i IIb)

Najmanje prosečno odstupanja tačke prikopčavanja od idealne putanje je kod traktora Case – zglobna varijanta i iznosi 17,4 cm, što je posledica najveće dužine, odnosno zbirnog rastojanja d_1+d_2 , što zapravo nema značaja ako se posmatra zasebno, ali je indikativno da je dužina traktora, ali pre svega pozicija GPS antene u odnosu na tačku kačenja uticajna na pojavu greške pri ručnom vođenju. Najveće prosečno odstupanje dobijeno je kod traktora Case – standardna varijanta, u proseku 24,8 cm jer mu je u poređenju sa ostalim traktorima zbir dimenzija d_1 i d_2 najmanji, te je osetljivost vođenja traktorskog agregata veća. To znači da će za manja odstupanja GPS antene od idealne putanje vođenja, taj traktor imati veća apsolutna odstupanja tačke kačenja od iste. U standardnoj varijanti manja odstupanja tačke prikopčavanja od idealne putanje su kod John Deere traktora, a u zglobnoj varijanti kod Case traktora. Iz prethodne analize se može izvesti generalni zaključak da su traktori čija je kabina „više“ pomerena unapred u odnosu na tačku prikopčavanja radne mašine povoljniji sa aspekta ručnog vođenja pri GPS navigaciji jer se eventualno odstupanje od idealne putanje manje odražava na pojavu odstupanja radne mašine od idealne putanje. Slične rezultate dobila je grupa autora (Gomez-Gill et al., 2011) u istraživanju mogućnosti povećanja preciznosti vođenja traktora uz primenu GPS navigacije.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih analiza uticaja konfiguracije traktora, odnosno položaja GPS antene prema tački kačenja priključne mašine, na kvalitet vođenja priključne mašine, može se doneti zaključak da konfiguracija traktora u određenim uslovima, pre svega povećane radne brzine može prouzrokovati pojavu značajnijih razlika u odstupanju tačke kačenja od idealne putanje gledano za fiksirana početna odstupanja GPS antene na različitim traktorima. Generalno, koncepcija zglobnih traktora je povoljnija sa aspekta GPS navođenja pri ručnoj korekciji jer je kabina postavljena na središtu između dva pogonska mosta, tj. pomerena u napred u odnosu na standardne koncepcije traktora što je zapravo osnovni razlog te prednosti. Jednom rečju, što je više GPS antena koja se nalazi na traktoru udaljena od tačke kačenja priključne mašine, to se odstupanje od idealne linije manje „prenosi“ na priključnu mašinu.

6. LITERATURA

- [1] Hemmat A, Adamchuk V.I. 2008. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. Computers and electronics in agriculture, 63(2008):89–103.
- [2] Adamchuk V.I, Hummel J.W, Morgan M.T, Upadhyaya S.K. 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 44(2004):71–91.

- [3] Adamchuk V.I, Hoy R.M, Meyer G.E, Kocher M.F. 2007. GPS-based auto-guidance test program development. In. J.V. Stafford, editor. Precision agriculture '07. 6th European Conference on Precision Agriculture Skiathos, Greece 3-6 June 2007.
- [4] Stoll A. i Kutzbach H. D. 2000. Guidance of a Forage Harvester with GPS. *Precision Agriculture*, 2:281-291.
- [5] Gavrić M. i Martinov M. 2006. Postupci i tačnost primene gps u poljoprivredi. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 32: 1-2, p. 96-102
- [6] Whipker L.D. i Akridge J.T. 2007. Precision agricultural services: Dealership survey results. Working paper no. 07-13. Department of Agricultural Economics, Purdue University. http://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/publications/2007_Precision_Ag.pdf.
- [7] Kostić M, Soskić I, Crnobarac J, Benka P, Malinović N. 2013. Prostorno lociranje sabijenih zona u zemlišnom profilu primenom gps i gis tehnologije. *Savremena poljoprivredna tehnika*, 39(3):187-196.
- [8] Van Bergeijk J, Goense D, Speelman L. 2001. Soil tillage resistance as a tool to map soil type differences. *J. Agric. Eng. Res.* 79(4):371–387.
- [9] Hanquet H, Sirjacobs D, Destain M. F, Frnkinet M, Verbrugge J. C. 2004. Analysis of soil variability measured with a soil strength sensor. *Precis. Agric.* 5(3):227–246.
- [10] Borgelt S. C, Harrison J. D, Suddth K. A, Birrell. 1996. Evaluation of GPS for applications in precision agriculture. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(6): 633-638.
- [11] Gomez-Gil J, Alonso-Garcia S, Gomez-Gill J, Stoumbaugh T. 2011. A simple method to improve autonomous gps positioning for tractors. *Sensors*, 11:5630-5644.
- [12] Gomez-Gil J, Guiz-Gonzales R, Alonso-Garsia S, Javier Gomez-Gil F. 2013. A Kalman filter implementation for precision improvement in low-cost gps positioning of tractors. *Sensors*, 13:15307-15232.
- [13] Han S, Zhang Q, Noh H, Shin B. 2004. A dynamic performance evaluation method for DGPS receivers under linear parallel-tracking applications. *Trans. ASAE*, 47(1): 321-329.
- [14] ION. 1997. Recommended test procedures for GPS receivers. ION STD101 – Revision C. Fairfax, Va: The institu of Navigation.
- [15] Al-Gaadi K.A, Ayers P.D. 1998. Assembly a real-time DGPS-Testing and investigating factors that affect its accuracy. *Applied Engineering in Agriculture*, 14(6): 659-665.
- [16] Wolfram S. (2011). *Mathematica: Virtual book*. Available from: <http://reference.wolfram.com/mathematica/tutorial/VirtualBook/Overview.html>

THE INFLUENCE OF TRACTOR CONFIGURATION ON MACHINE GUIDANCE ERROR UNDER PARALLEL TRACKING PATTERN- THEORETICAL ANALYSIS

Marko Kostić, Nebojša Dedović, Lazar Savin, Snežana Matić-Kekić
University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Bulevar cara Lazara 8, Novi Sad

In this research was done the theoretical analysis about influence of characteristic dimensions of chosen tractors on manual steering error. The main objective was to analyse a distance of coupling point of different tractor model from ideal guidance line for common initial conditions. The simulations were done for chosen tractors with standard conception JD 8285R and Case MX 285, and also two articulated tractors JD9330 i Case STX 275. In the research were simulated a deviations of GPS receiver as well as travel speed, and according to developed mathematical models were obtained results about how much is tractor hitch point far away from ideal guidance and than were compared between tractor model and tractor conception. According to obtained results, it was concluded that tractor JD8285R has lower deviation hitch point from ideal guidance line relative to tractor CASE MX275 Magnum, for identical initial condition. For articulated tractors, it was concluded that tractor Case STX 275 has lower deviation hitch point from ideal guidance line relative to tractor JD9330. General conclusion of this research was that increasing GPS receiver distance from hitch point on tractor, the distance of hitch point from ideal guidance line has decreasing.

Key words: GPS, navigation, manual steering, tractor

Napomena: Rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektima TR31046 pod nazivom „Unapređenje kvaliteta traktora i mobilnih sistema u cilju povećanja konkurentnosti, očuvanja zemljišta i životne sredine“.

Primljeno: 21. 07. 2015. god.

Prihvaćeno: 02. 08. 2015. god.