



UDK: 631.372

NOVA METODA ODREĐIVANJA MAKSIMALNE DEBLJINE PLASTICE ROTACIONE SITNILICE

Dragi Radomirović, Ondrej Ponjičan, Anđelko Bajkin, Miodrag Zoranović

*Poljoprivredni fakultet - Novi Sad
dragir@polj.uns.ac.rs*

Sadržaj: Tačno određivanje maksimalne debljine plastice izvedeno je preko funkcije " f ". Funkcija " f " je definisana kao rastojanje između tačke na površini zemljišta na mestu prethodnog ulaska noža (za istosmerno obrtanje) ili narednog izlaska noža iz zemljišta (suprotnosmerno obrtanje) od tačke trohoide sa tekućim koordinatama (x, y) . Minimum funkcije " f " predstavlja maksimalnu debljinu plastice. Korišćenjem nove metode određena je maksimalna debljina plastice u zavisnosti od promene radne brzine.

Ključne reči: *rotaciona sitnilica, maksimalna debljina plastice, istosmerno i suprotnosmerno obrtanje, transcendentna jednačina*

UVOD

Rotacione sitnilice kao samostalne mašine se u manjem obimu koriste zbog relativno velike potrebne energije za njihov rad. Glavni razlog zašto bi u većem obimu trebalo koristiti rotacione sitnilice je visoka efikasnost rada, lako rukovanje, ravna površina zemljišta posle obrade i dobro usitnjavanje zemljišta (Bajkin, 2006). Unapređenjem oblika alata za obradu zemljišta (noževa) moguće je redukovati vučnu silu i potrebnu snagu, a u isto vreme postići dobar kvalitet obrade (Salokhe and Ramalingam, 2003).

Mašine sa aktivnim radnim alatima imaju mogućnost regulacije režima rada, čime se utiče na stepen usitnjavanja zemljišta u zavisnosti od postavljenih agrotehničkih zahteva. Mašine sa aktivnim radnim alatima nezamenjive su pri obradi težih i zabarenih zemljišta, a obradu je moguće kvalitetno izvesti u širokim granicama vlažnosti i zakorovljenosti zemljišta (Páltik et al, 2003).

Na izvedenim konstrukcijama mašina za formiranje gredica, najviše se koristi smer obrtanja rotora rotacionih sitnilica koji se poklapa sa smerom obrtanja točkova traktora. Najnovije konstrukcije mašina za formiranje gredica imaju suprotnosmerno obrtanje rotora rotacione sitnilice (Radomirović i sar, 2006b, 2008; Ponjičan i sar, 2008).

Za parametre izmerene u toku poljskih ispitivanja mašine za formiranje mini gredica, sa stanovišta visine grebenova i maksimalne debljine plastice, suprotnosmerno obrtanje predstavlja bolje tehničko rešenje koje obezbeđuje bolji kvalitet rada (Radomirović i dr, 2008).

Shibusawa (1993) navodi da pri istom odnosu obimne i radne brzine, pri promeni smeru obrtanja rotora, oblik odsečene plastice je različit, dok je zapremina jednaka u oba slučaja.

Korišćenjem rotacionih sitnilica sa suprotnosmernim obrtanjem rotora u praksi, dobija se potpuna obrada zemljišta u jednom proходу (Kataoka and Shibusawa, 2002).

Maksimalna debljina plastice predstavlja jedan od najznačajnijih parametara odrezane plastice, kao i tehnoloških karakteristika rotacionih sitnilica (Matjašin et al, 1988).

MATERIJAL I METOD RADA

U radu je naveden novi postupak izračunavanja maksimalne debljine plastice rotacione sitnilice δ_{max} , za istosmerno i suprotnosmerno obrtanje rotora u zavisnosti od promene radne brzine. Polazni tehnički i eksploatacioni podaci izmereni su prilikom poljskih ispitivanja adaptirane rotacione sitnilice u toku 2008. godine. Poluprečnik rotora iznosio je $R = 0,25$ m, broj noževa $z = 3$, ugaona brzina radnog rotora $\omega = 16,034$ s⁻¹ i dubina obrade $a = 0,10$ m.

Na osnovu analize polaznih parametara pri radu rotacione sitnilice za obimnu brzinu, kinematički pokazatelj, zahvat noža i radnu dubinu, utvrđeno je da su prilikom ispitivanja pravilno izabrane vrednosti za radnu brzinu u granicama 0,29 do 1,08 m/s, koje omogućavaju celovito i potpuno sagledavanje kinematičkog režima rada ispitivane rotacione sitnilice (Matjašin et al, 1988; Páltik et al, 2003).

Za izračunavanje maksimalne debljine korišćen je programski paket "Scientific work place". Određivanje matematičkih zavisnosti maksimalne debljine plastice sa promenom radne i obimne brzine izvedeno je preko jednačina nelinearne polinomne i stepene regresije, kao i stepena determinacije, korišćenjem programskog paketa Microsoft Office Excel 2003.

REZULTATI I DISKUSIJA

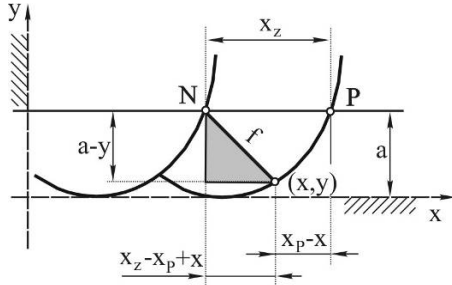
U procesu obrade zemljišta rotacionom sitnilicom vrh noža ima složeno kretanje koje se sastoji od pravolinijskog (prenosnog) i obrtnog (relativnog) kretanja. Parametarske jednačine trohoide koju opisuje vrh noža rotacione sitnilice imaju oblik:

$$x(t) = v_m \cdot t \pm R \cdot \cos \omega t \quad (1)$$

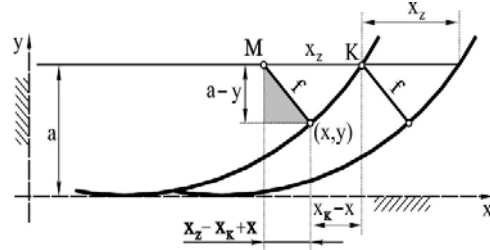
$$y(t) = R - R \cdot \sin \omega t \quad (2)$$

U prvoj parametarskoj jednačini za istosmerno obrtanje rotora rotacione sitnilice koristi se znak "+" a za suprotnosmerno znak "-" (Radomirović i sar, 2006a).

Maksimalna debljina plastice za slučaj istosmernog i suprotnosmernog obrtanja rotora određena je tačno, definisanjem funkcije f čiji minimum predstavlja maksimalnu debljinu plastice (sl. 1 i 2).



Sl. 1. Određivanje maksimalne debljine plastice pri istosmernom obrtanju rotora



Sl. 2. Određivanje maksimalne debljine plastice pri suprotnosmernom obrtanju rotora

Rastojanje tačke N za istosmerno obrtanje rotora, od tačke trohoide sa tekućim koordinatama $(x \text{ i } y)$, definiše funkcija f , koja je hipotenuza pravouglog trougla (sl. 1), a može da se odredi preko izraza:

$$f = \sqrt{(x_z - x_p + x)^2 + (a - y)^2}. \quad (3)$$

Vrednost koordinate x_p pri istosmernom obrtanju rotora u trenutku ulaska noža u zemljište odvija se u trenutku vremena $t = t_p$. Za trenutak vremena t_p važe jednakosti:

$$\cos \omega t_p = \frac{\sqrt{2aR - a^2}}{R}, \quad \sin \omega t_p = \frac{R - a}{R}, \quad t_p = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{R - a}{R}. \quad (4)$$

Uvrštavanjem (4) u jednačinu (1) dobija se vrednost za x_p :

$$x_p = \frac{v_m}{\omega} \arcsin \frac{R - a}{R} + \sqrt{2aR - a^2}. \quad (5)$$

Funkcija $f(3)$, dobija oblik:

$$f(t) = \sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \arcsin \frac{R - a}{R} - \sqrt{2aR - a^2} + v_m t + R \cos \omega t \right)^2 + (a - R + R \sin \omega t)^2}. \quad (6)$$

Dobijeni oblik funkcije (6) zavisi od nepoznate t . Prvi izvod funkcije (6) ima oblik:

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{(v_m - R\omega \sin \omega t) \left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \arcsin \frac{R - a}{R} - \sqrt{2aR - a^2} + v_m t + R \cos \omega t \right) + R\omega \cos \omega t (a - R + R \sin \omega t)}{\sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \arcsin \frac{R - a}{R} - \sqrt{2aR - a^2} + v_m t + R \cos \omega t \right)^2 + (a - R + R \sin \omega t)^2}}. \quad (7)$$

Da bi u trenutku vremena $t = \bar{t}$, prvi izvod bio jednak nuli mora brojilac izraza (7) da bude jednak nuli:

$$(v_m - R\omega \sin \omega \bar{t}) \left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \arcsin \frac{R - a}{R} - \sqrt{2aR - a^2} + v_m \bar{t} + R \cos \omega \bar{t} \right) + R\omega \cos \omega \bar{t} (a - R + R \sin \omega \bar{t}) = 0 \quad (8)$$

Bitno je ono rešenje dobijene transcendentne jednačine (8) gde je $\bar{t} \leq \frac{\pi}{2\omega}$ za koje funkcija $f(6)$ ima minimum. Za takvo rešenje važi $\delta_{\max} = f_{\min} = f(\bar{t})$. Za vrednost $\bar{t} \geq \frac{\pi}{2\omega}$ maksimalna debljina plastice ima vrednost jednaku radnoj dubini, $\delta_{\max} = a$.

Izračunavanje vremena \bar{t} za konkretne podatke izvodi se numerički korišćenjem programskog paketa "Scientific work place". Nakon određivanja trenutka vremena \bar{t} , njegovim uvrštavanjem u funkciju (6) dobija se tačna vrednost debljine plastice za istosmerno obrtanje rotora rotacione sitnilice:

$$\delta_{\max} = \sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \arcsin \frac{R-a}{R} - \sqrt{2aR-a^2} + v_m \bar{t} + R \cos \omega \bar{t}\right)^2 + (a-R+R \sin \omega \bar{t})^2} \quad (9)$$

Za slučaj suprotnosmernog obrtanja rotora rotacione sitnilice, rastojanje tačke M od tačke trohoide sa tekućim koordinatama (x,y), definiše funkcija f , koja je hipotenuza pravouglog trougla (sl. 2):

$$f = \sqrt{(x_z - x_K + x)^2 + (a-y)^2}. \quad (10)$$

Vrednost koordinate x_K pri suprotnosmernom obrtanju rotora, u trenutku izlaska noža iz zemljišta, odgovara trenutku vremena $t = t_K$. Za trenutak vremena t_K važe jednakosti:

$$\cos \omega t_K = -\frac{\sqrt{2aR-a^2}}{R}, \quad \sin \omega t_K = \frac{R-a}{R}, \quad t_K = \frac{\pi}{2\omega} + \frac{1}{\omega} \arccos \frac{R-a}{R}. \quad (11)$$

Uvrštavanjem (11) u jednačinu (1), dobija se vrednost za x_K :

$$x_K = \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \arccos \frac{R-a}{R} \right) + \sqrt{2aR-a^2}. \quad (12)$$

U cilju definisanja tekućih koordinata (x i y) za proizvoljnu vrednost vremena t , a samim tim i proizvoljnog parametra α , važi zavisnost:

$$\omega t = \frac{\pi}{2} + \alpha \Rightarrow t = \frac{\pi}{2\omega} + \frac{\alpha}{\omega}, \quad (13)$$

pri čemu važi da je:

$$\sin \omega t = \sin \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right) = \cos \alpha \quad \text{i} \quad \cos \omega t = \cos \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right) = -\sin \alpha. \quad (14)$$

Na osnovu jednačina kretanja (1 i 2) kao i jednačina (13 i 14) dobijaju se sledeće tekuće koordinate u zavisnosti od parametra α :

$$x = v_m \left(\frac{\pi}{2\omega} + \frac{\alpha}{\omega} \right) + R \sin \alpha, \quad y = R - R \cos \alpha. \quad (15)$$

Rastojanje f (10), čiji minimum predstavlja tačnu vrednost maksimalne debljine plastice postaje funkcija nepoznate α , oblika:

$$f(\alpha) = \sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \arccos \frac{R-a}{R} \right) - \sqrt{2aR-a^2} + \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right) + R \sin \alpha\right)^2 + (a-R+R \cos \alpha)^2} \quad (16)$$

Minimum funkcije f predstavlja maksimalnu debljinu plastice, pri čemu važi da je: $\delta_{\max} = f_{\min}$. Prvi izvod funkcije (16) ima oblik:

$$f(\alpha) = \frac{\left[\frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right) + R \sin \alpha - \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \arccos \frac{R-a}{R} \right) - \sqrt{2aR - a^2} + x_z \right] \left[\frac{v_m}{\omega} + R \cos \alpha \right] - R(a - R + R \cos \alpha) \sin \alpha}{d\alpha} \quad (17)$$

$$\sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \arccos \frac{R-a}{R} \right) - \sqrt{2aR - a^2} + \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right) + R \sin \alpha \right)^2 + (a - R + R \cos \alpha)^2}$$

Prvi izvod (17) je jednak nuli kada je njegov brojilac jednak nuli. Neka je u toj tački $\alpha = \alpha_3$. Transcedentna jednačina ima oblik:

$$\left[\frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \alpha_3 \right) + R \sin \alpha_3 - \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \arccos \frac{R-a}{R} \right) - \sqrt{2aR - a^2} + x_z \right] \left[\frac{v_m}{\omega} + R \cos \alpha_3 \right] - R(a - R + R \cos \alpha_3) \sin \alpha_3 = 0 \quad (18)$$

Bitno je ono rešenje transcedentne jednačine (18) za koje funkcija (16) ima minimum. Nakon određivanja vrednosti ugla α_3 , tačna teorijska vrednost maksimalne debljine plastice za suprotnosmerno obrtanje rotora dobija se iz jednačine:

$$\delta_{\max} = \sqrt{\left(x_z - \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \arccos \frac{R-a}{R} \right) - \sqrt{2aR - a^2} + \frac{v_m}{\omega} \left(\frac{\pi}{2} + \alpha_3 \right) + R \sin \alpha_3 \right)^2 + (a - R + R \cos \alpha_3)^2} \quad (19)$$

Za izmerene vrednosti tehničkih parametara i radne brzine u toku poljskih ispitivanja, izračunati su kinematički parametri i maksimalna debljina plastice u zavisnosti od smera obrtanja rotora (tab. 1). Prilikom ispitivanja, varirana je radna brzina u granicama 0,29–1,08 m/s, pri čemu je ostvarena vrednost zahvata noža x_z u granicama 0,038–0,141 m, koji ima istu vrednost za oba smera obrtanja rotora.

Maksimalna debljina plastice definisana je kao najkraće rastojanje tačke N ili M (sl. 1 i 2), koja se nalazi na površini zemljišta na prvoj trohoidi, od druge trohoide (Radomirović i dr, 2006). Za zadatu vrednost radne dubine a , rešavanjem transcedentne jednačine (9) za istosmerno i (18) za suprotnosmerno obrtanje, određene su tačne vrednosti maksimalne debljine plastice δ_{\max} , korišćenjem programskog paketa "Scientific work place". Za radnu brzinu $v_m = 1,06$ m/s ili vrednosti veće od nje, maksimalna debljina plastice, pri istosmernom obrtanju, ima vrednost jednaku radnoj dubini, $\delta_{\max IS} = a = 0,1$ m.

Tab. 1. Maksimalna debljina plastice u zavisnosti od smera obrtanja rotora

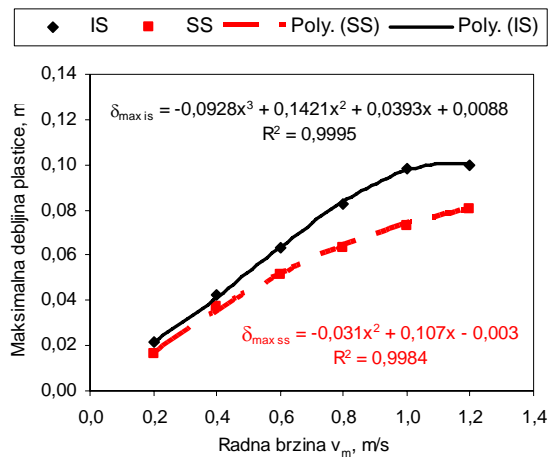
Parametri	Jed. mere	Izmerena ili izračunata vrednost				
Radna brzina, v_m	m/s	0,29	0,43	0,55	0,77	1,08
Zahvat noža, x_z	m	0,038	0,056	0,072	0,101	0,141
Debljina plastice za istosmerno obrtanje, $\delta_{\max IS}$	m	0,031	0,045	0,058	0,080	0,100
Debljina plastice za suprotnosmerno obrtanje, $\delta_{\max SS}$	m	0,0278	0,0393	0,0481	0,0618	0,0764
Odnos, $(x_z - \delta_{\max IS})/x_z$	%	19,41	19,32	19,41	20,32	29,08
Odnos, $(x_z - \delta_{\max SS})/x_z$	%	26,62	30,06	33,04	38,51	45,83
Odnos, $(\delta_{\max IS} - \delta_{\max SS})/\delta_{\max IS}$	%	8,95	13,30	16,92	22,82	23,60

Pri istosmernom obrtanju, izračunavanjem odnosa između razlike zahvata noža i maksimalne debljine plastice u odnosu na zahvat noža dobijene su ujednačene vrednosti odnosa u granicama 19,32–20,32% za izmerene vrednosti radne brzine koje su manje od 1,06 m/s. Pri radnoj brzini od 1,08 m/s maksimalna debljina plastice je manja za 29,08%.

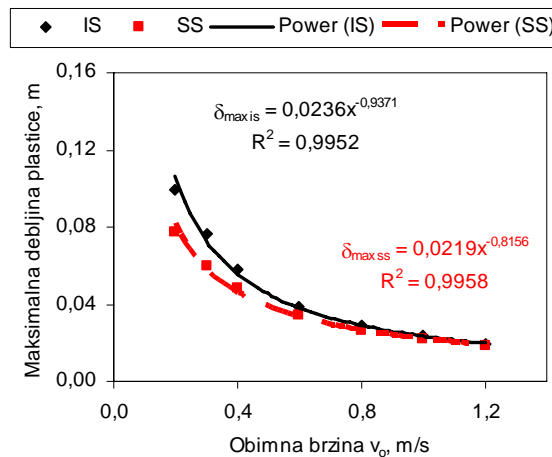
Pri suprotnosmernom obrtanju, vrednosti navedenog odnosa rastu sa povećanjem radne brzine u granicama od 26,62–45,83%. Vrednosti odnosa razlike maksimalnih debljina plastice u zavisnosti od promene smera obrtanja u odnosu na maksimalnu debljinu plastice pri istosmernom obrtanju rastu proporcionalno povećanju radne brzine u granicama od 8,95–23,60%, za izmerene vrednosti radne brzine.

Promena maksimalne debljine plastice u zavisnosti od radne brzine za oba smera obrtanja sa najvišim stepenom determinacije može da je izrazi pomoću nelinearne polinomne regresije, čije su jednačine navedene na slici 3.

Za vrednost radne brzine od $v_m = 0,55$ m/s, promena maksimalne debljine plastice, u zavisnosti od obimne brzine za oba smera obrtanja sa najvišim stepenom determinacije može da se izrazi pomoću nelinearne stepene regresije, čije su jednačine navedene na slici 4.



Sl. 3. Maksimalna debljina plastice u zavisnosti od radne brzine



Sl. 4. Maksimalne debljine plastice u zavisnosti od obimne brzine

Povećanjem radne brzine raste vrednost maksimalne debljine plastice i povećava se razlika između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja (sl. 3). Povećanjem obimne brzine opada vrednost maksimalne debljine plastice i smanjuje se razlika između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja (sl. 4).

Za iste vrednosti polaznih parametara pri suprotnosmernom obrtanju, maksimalna debljina plastice ima niže vrednosti u odnosu na istosmerno obrtanje. Manja vrednost maksimalne debljine plastice omogućava kvalitetnu obradu teških, sabijenih, kamenitih i zakorovljenih zemljišta (Matjašin et al, 1988; Shibusawa, 1993; Kataoka and Sibusawa, 2002; Páltik et al, 2003).

ZAKLJUČAK

U eksploatacionim uslovima pri radu modifikovane rotacione sitnilice izmerene su vrednosti tehničkih parametara i radne brzine. Na osnovu izmerenih vrednosti izračunate su vrednosti kinematičkih parametara i maksimalna debljina plastice za oba smera obrtanja rotora. Povećanjem radne brzine, raste vrednost maksimalne debljine plastice i povećava se razlika između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja u granicama od 8,95–23,60%. Povećanjem obimne brzine opada vrednost maksimalne debljine plastice i smanjuje se razlika između istosmernog i suprotnosmernog obrtanja.

Manja vrednost maksimalne debljine plastice pri suprotnosmernom obrtanju za navedene vrednosti radnih brzina, omogućava kvalitetnu obradu teških, sabijenih, kamenitih i zakorovljenih zemljišta.

LITERATURA

- [1] Bajkin A. 2006. Primena rotofreze u savremenoj proizvodnji povrća. Savremeni povrtar 18, 21-21.
- [2] Kataoka T, Sibusawa S. 2002. Soil-blade dynamics in reverse-rotational rotary tillage. Journal of Terramechanics 39: 95-113.
- [3] Матяшин Ю.И, Гринчук И.М, Егоров Г.М. 1988. Расчет и проектирование ротационных почво-обрабатывающих машин, Агропромиздат, Москва, 175.
- [4] Páltik J, Findura P, Polc M. 2003. Stroje pre rastlinnú výrobu, obrábanie pôdy, sejba. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 241.
- [5] Ponjičan O, Bajkin A, Nešić Ljiljana. 2008. Uticaj različitih konstrukcija mašina za formiranje gredica na strukturu zemljišta kod proizvodnje mrkve. Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi 12(3): 164-167.
- [6] Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A. 2006a. Geometrijski pokazatelji rada rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem radnih organa. Savremena poljoprivredna tehnika 32(1-2): 29-35.
- [7] Radomirović D, Bajkin A, Jančić Milena, Zoranović M. 2006b. Kinematika rada rotacione sitnilice sa suprotnosmernim obrtanjem u realnim uslovima. Traktori i pogonske mašine 11(5): 62-66.
- [8] Radomirović D, Ponjičan O, Bajkin A, Zoranović M. 2008. Uticaj smera obrtanja rotacione sitnilice na parametre obrade zemljišta. Poljoprivredna tehnika 33(2): 4-47.
- [9] Salokhe M, Ramalingan N. 2003. Effect of rotation diredtion of rotary tiller on draft and power requirements in a Bangkok clay soil. Journal of Terramechanics 39, p. 195-205.
- [10] Shibusawa S. 1993. Reverse rotational rotary tiller for reduced power requirement in deep tillage. Journal of Terramechanics 30(3), 205-217.

Rad predstavlja deo istraživanja na projektima 20076 i 22006, koje finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije.

**A NEW METHOD OF MAXIMUM FURROW THICKNESS
DETERMINATION FOR ROTARY TILLER**

Dragi Radomirović, Ondrej Ponjičan, Anđelko Bajkin, Miodrag Zoranović

*Faculty of Agriculture - Novi Sad
dragir@polj.uns.ac.rs*

Abstract: Precision determination maximal of furrow thickness was performed over function " f ". Function " f " was defined as distance between the point on the soil surface and the place of previous blade entrance (for the same rotation direction) or its following coming out (opposite rotation direction), from the point of trochoid with current coordinates (x, y) . Minimum of function " f " presents maximal furrow thickness. With new method utilization there is defined maximal furrow thickness in regard to operational speed variation.

Key words: rotary tiller, maximal furrow thickness, direction of rotor rotation, transcendental equation.