



UDK: 631.31

*Pregledni naučni rad  
Review scientific paper*

## OPTIMIZACIJA PARAMETARA RADNIH ELEMENATA POLJOPRIVREDNIH MAŠINA ZA OBRADU ZEMLJIŠTA

**Milan Veljić, Dragan Marković***Mašinski fakultet - Beograd*

**Sadržaj:** U radu su prikazane mogućnosti optimizacije parametara alata poljoprivrednih mašina za obradu zemljišta koje se odnose na oblik, dimenzije, kinematiku, materijal, masu i cenu. Ovi parametri su analizirani u zavisnosti od uslova primene, agrotehničkih zahteva, kvaliteta rada, energetske pokazatelja kao i univerzalnosti i usklađenosti sa proizvodnim mogućnostima radne i pogonske mašine.

**Ključne reči:** *alati za obradu zemljišta, parametri, optimizacija.*

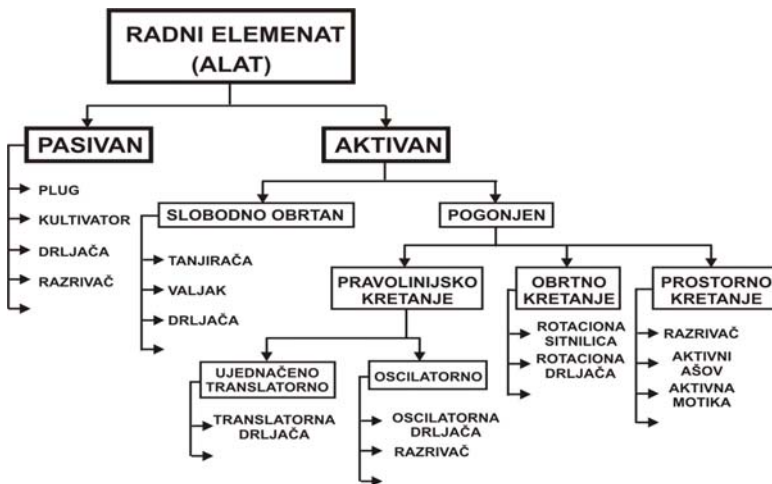
### 1. UVOD

Radni elementi poljoprivrednih mašina (alati) za obradu zemljišta omogućavaju ispunjavanju agrotehničkih zahteva i to prvenstveno po dubini i širini zahvata. Otpori obrade se menjaju sa promenom ovih parametara. Uvođenjem kinematskih parametara kod rotacionog kretanja i kod oscilatornog kretanja alata dovelo je do novih saznanja koja su uticala kako na smanjenje vučne sile, tako i na ukupnu potrošnju energije pri obradi zemljišta. Parametri radnih elemenata utiču ne samo na otpore nego i na kvalitet rada. Značaj razmatranja svih relevantnih faktora pri obradi zemljišta se odnosi na relativno veliki udeo potrošnje energije u odnosu na operacije koje slede nakon ove obrade. Adekvatnom optimizacijom parametara radnih elemenata postiže se manji otpor obrade, bolji kvalitet rada, odnosno ispunjavanje agrotehničkih zahteva i veća ekonomska opravdanost. Razvoj novih materijala, prevlaka, pa i primena elektronike i automatskog upravljanja, omogućavaju najpovoljniji režim rada uz smanjenje mogućnosti otkaza. Težnja sa standardizacijom svih elemenata (raonika, plućne daske, motičica kultivatora, elemenata za, noževa rotacione sitnilice, zubaca drljače itd.) neće da smanji manevarski prostor za brojne inovacije. Kritički osvrt na postojeća rešenja i uvođenjem novih standarda u ovoj oblasti će omogućiti racionalniju promenu novih rešenja radnih elemenata za obradu zemljišta. U ovoj oblasti, bez obzira na tradiciju i relativno male pomake ima veliki prostor za primenu rezultata naučnoistraživačkog rada.

## 2. ANALIZA PARAMETARA

Kvalitet rada je jedan od osnovnih zahteva za izbor radnih elemenata poljoprivrednih mašina za obradu zemljišta. Odizanje, prevrtanje, pomeranje, sitnjenje, razrivanje, podsecanje (ukoliko je prisutan korov), itd. su elementi koje treba uzeti u obzir pri analizi ispunjavanja tehnoloških zahteva. Međutim proces obrade zavisi od geometrijskih kinematskih pa i dinamičke parametara rada radnih elemenata poljoprivrednih mašina za obradu zemljišta. Raznolikost tih delova, alata, je uslovljena pre svega agrotehničkim zahtevima kojima se postiže željeno stanje obrađenog zemljišta. Neznatna promena geometrijskih parametara je i te kako uticajna. Razmeštaj, pričvršćivanje alata, dizajniranje mašine za obradu zemljišta je nesumljivo neobilazan faktor koji ima značajnu ulogu pri obradi zemljišta.

Obrada zemljišta se odvija kroz nekoliko osnovnih vidova i to prvenstveno mašinama i oruđima sa pasivnim i aktivnim radnim elementima, slici 1. Varijante aktivnih alata se odnose na slobodno obrtanje radnih elemenata ili na prinudni pogon.



Sl. 1. Podela radnih elemenata mašina za obradu zemljišta

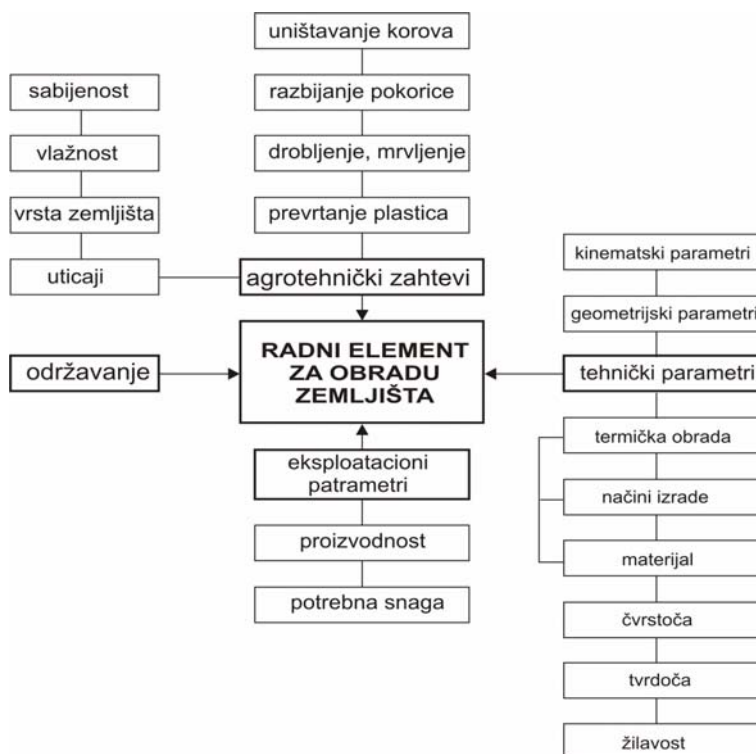
Svaka od ovih grupa alata treba prvenstveno posmatrati kroz efekte, proizvodnost, kvalitet rada i potrošnju energije. Razmatranjem ovih pokazatelja došlo se do zaključka da je u nekim slučajevima kvalitet obrade zemljišta izuzetno dobar, ali je proizvodnost mala, a potrebna snaga izuzetno velika. Optimizacija parametara bi trebala da se obavlja i u rešavanju, odnosno usklađivanju ovih pitanja.

Optimalni parametri uzimaju u obzir:

- geometriju alata i kinematiku,
- površinu alata (koeficijent trenja),
- dugovečnost (istrošenje),
- uklapanje u koncepciju mašine,
- energetske pokazatelje,
- materijal i moguće prevlake,
- tehnologiju izrade, odnosno cenu alata

mada se mogu uzeti i mnogi drugi pokazatelji koji nisu dominantni, a to su automatizacija, održavanje, masa, naoštrenost itd.

Pri definisanju radnih elemenata za obradu zemljišta, slika 2, pošlo se od uticajnih parametara i to: agrotehničkih zahteva, tehničko-tehnoloških parametara, eksploatacijskih parametara i vrste i stanja zemljišta. Za ova razmatranja u prvi plan se postavlja materijal alata sa svojim fizičko-hemijskim i mehaničkim karakteristikama koji imaju bitan uticaj, kako na ispunjavanje agrotehničkih zahteva, tako i na eksploatacione parametre i održavanje.

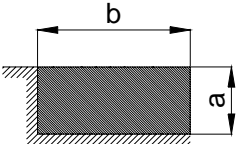
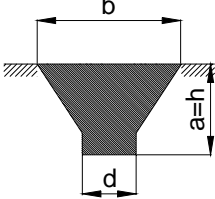
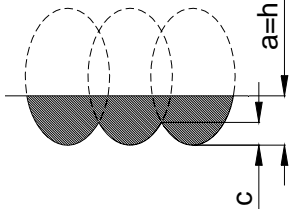
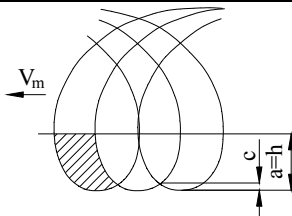


Sl. 2. Parametri i zahtevi koji se odnose na radne elemente

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja odnose se na razmatranjima parametara koji definišu racionalnu primenu alata u konkretnim uslovima. Na slici 3 prikazani su osnovni oblici plastica ili deformisanog zemljišta kao i osnovni parametri alata (prvenstveno geometrijski i kinematski).

Kod pasivnih radnih elemenata važno je analizirati određene geometrijske parametre i njihovu zavisnost od brzine kretanja mašine. Primena alata za obradu zemljišta sa pravougaonom plasticom dimenzija  $a \times b$ , slika 3(1), zahteva optimizaciju parametara pre svega uglova klina. Takođe treba pri ovim razmatranjima uzeti u obzir i neke parametre koji se odnose i na oblik alata, naoštrenost, materijal, koeficijent trenja čelika o zemljište itd.

1		<p>Za formiranje plastice pravougaonog oblika osnovni parametri alata su uglovi trostranog klina <math>\alpha</math>, (ugao odizanja) <math>\beta</math>, (ugao prevrtanja) i <math>\gamma</math>, (ugao rezanja). Uzeti u obzir i brzinu kretanja mašine <math>v_m</math>. Obrada plugom i kultivatorom za međurednu obradu.</p>
2		<p>Pored osnovnih dimenzija i oblika alata na zonu deformacije <math>a</math> i <math>b</math> uticajni parametri su i brzina kretanja <math>v_m</math>, amplituda i frekvencija oscilovanja. Koristi se u obradi zemljišta kultivatorima i mašinama sa razrivačkim radnim elementima, pasivnim i aktivnim.. Visina grebena zavisi od razmeštaja radnih elemenata.</p>
3		<p>Prečnik diska <math>D</math>, poluprečnik krivine diska <math>R</math>, rastojanje između diskova <math>b</math>, ugao <math>\alpha</math> u odnosu na pravac kretanja, ugao <math>\beta</math> u odnosu na vertikalu uslovljavaju kvalitet rada i visinu grebena <math>c</math>. Karakteristično je za diskosne redne organe, plugove i tanjirače kao i za neke tipove rotacionih drljača.</p>
4		<p>Parametri <math>R</math> (poluprečnik rotora), ugaona brzina <math>\omega</math>, brzina kretanja mašine <math>v_m</math>, su parametri koji definišu koeficijent <math>\lambda = R\omega/v_m</math> na osnovu kojih se određuje dimenzija plastice i visina grebena <math>c</math>. Pravac kretanja je normalan na osu rotora i primenjuje se kod rotacionih sitnilica. Slična razmatranja primenjuju se i na rotacione drljače sa vertikalnom osom obrtanja rotora.</p>

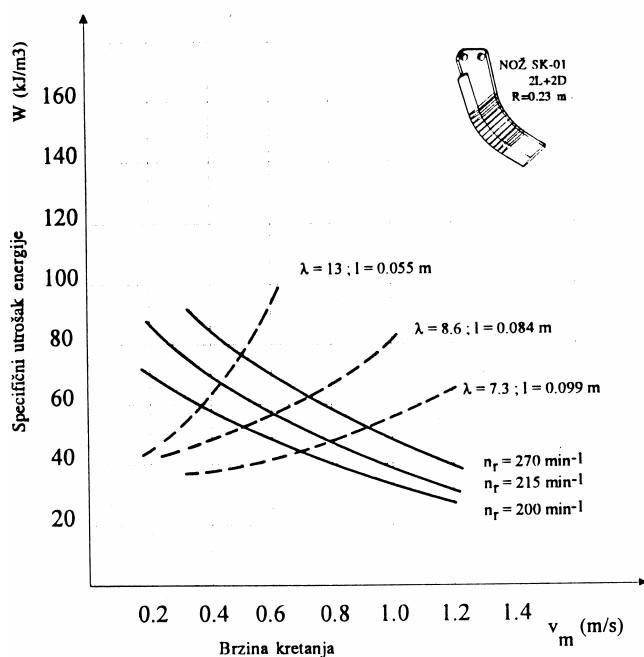
Sl. 3. Oblici plastice i relevantni parametri

Pri primeni rešetkastog plužnog tela eksploataciona ispitivanja su pokazala da prilikom oranja (plug IMT-610.65) na dubini od 20 do 30 cm, i širini zahvata do 39,6 cm, pri vlažnosti zemljišta od 18.13 do 20.14%, vučni otpori su u odnosu na puno plužno telo bili manji od 8 do 15% što se može objasniti trakastom konstrukcijom plužne daske i smanjenjem koeficijenta trenja.

Kod aktivnih radnih elemenata pojavljuju se brojni parametri koji osim na kvalitet rada utiču i na energetske pokazatelje. Rotaciono kretanje alata sa horizontalnom i vertikalnom osom obrtanja je sve češće u primeni zbog intenziteta sitnjenja zemljišta kao i mogućnosti uklapanja u koncept mašina za obavljanje nekoliko operacija u jednom proходу (prvenstveno obrada zemljišta đubrenje i setva). Kod rotacionih mašina za obradu zemljišta utrošak energije i kvalitet rada pre svega zavisi od sledećih parametara:

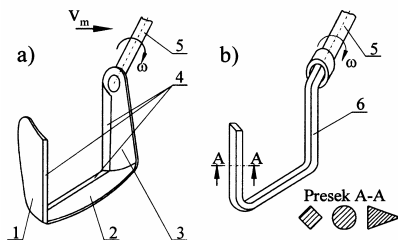
$$\text{Kvalitet, energija} \rightarrow f(\omega, R, v_m, \text{geometrija alata})$$

Na slici 4. prikazana je promena utroška energije po jedinici zapremine obrađenog zemljišta  $W$  u zavisnosti od brzine kretanja  $v_m$ , broja obrtaja rotora  $n_r$ , za različite duži ne odsečka  $l$  i kinematskog režima rada  $\lambda$  pri obradi neobrađenog zemljišta, srednje teškog (vlažnost 16.5 -18.5%), predusev kukuruz.

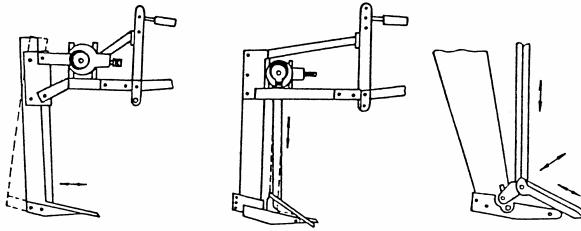


Sl. 4. Promena specifičnog utroška energije za obradu zemljišta sa rotacionim radnim elementima

Osim rešenja sa rotacionim kretanjem alata sa horizontalnom ili vertikalnom osom obrtanja istraživanja su vršena u pravcu osvajanja koncepcije sa osom obrtanja postavljenoj pod uglom u odnosu na dno brazde od  $45^\circ$ , a u ravni poprečnoj u odnosu na pravac kretanja, slika 5. Osnovu ovog rešenja čine segmenti 1, 2 i 3, spojeni u jednu celinu, a njihov međusoban položaj je definisan uglom od  $90^\circ$ . Osa vratila 5 prolazi kroz tačku koja je definisana spojem alata 1 i 2. Ceo sistem radnih elemenata je preko segmenta 3 čvrsto vezan za vratilo 5. Oštrica noža 4 je na suprotnoj strani od oštrice na segmentima 2 i 3. Radne površine, koje se nalaze iza noža oblikuju se tako da pri radu zadnjim delom odižu plasticu, ali ne zadiru u dno brazde. Ovim rešenjem, slika 5 a. bilo bi omogućeno i delimično prevrtanje plastice, sitnjenje i mešanje zemljišta. Zamenom alata može da se obezbedi i dopunska obrada zemljišta, slici 5b.



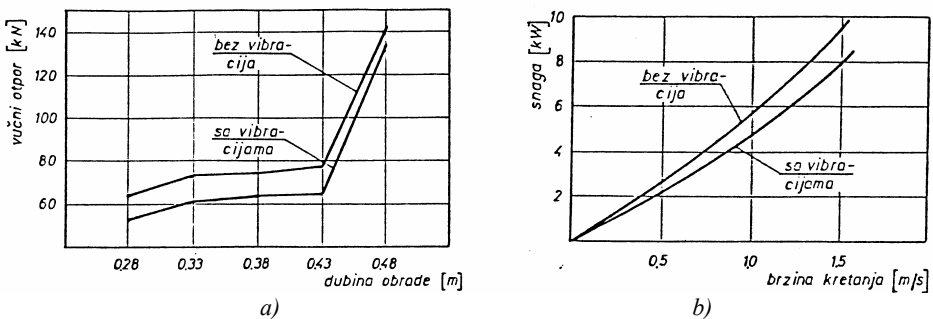
Sl. 5. Izgled sekcije sa uglom postavljanja o  $45^\circ$  prema dnu brazde



Sl. 6. Aktivni razrivački elementi

Primena savremenih tehnologija ukazuje da pri korišćenju aktivnih pogonjenih radnih elemenata sa oscilatornim kretanjem, za pripremu zemljišta, utrošena energija se znatno smanjuje u odnosu na pasivne radne elemente. Na osnovu tih analiza i primene traktora snaga preko 100 kW još više je došlo do razvoja mašina sa razrivačkim radnim organima. Na slici 7. prikazana su tri načina, koncepta aktivnih razrivača tj. sa prinudnim regulisanim kretanjem, oscilovanjem radnih elemenata razrivača.

Sa dijagrama promene vučnog otpora u zavisnosti od dubine obrade pri uporednim ispitivanjima razrivača sa i bez oscilovanja radnih elemenata, slika 7a. može se zaključiti da je vučni otpor pri malim dubinama obrade, do oko 0,4 m, manji kod razrivača sa oscilujućim radnim elementima za 17%. Takođe, uporedna ispitivanja prikazana dijagramom slika 7b. ukazuju da se potrebna snaga sa povećanjem brzine kretanja povećava znatnije kod razrivača bez oscilovanja radnih elemenata. Sitnjenje zemljišta je intenzivnije primenom oscilujućih radnih elemenata, odnosno sadržaj čestica zemljišta manjih od 0,02 m je za oko 40% veći kod obrade sa oscilujućim radnim elementima, a sabijenost zemljišta se smanjuje za 22%. Zona deformacije zemljišta je veća kod primene aktivnih razrivača.



Sl. 7. a) Promena vučnog otpora u zavisnosti od dubine obrade; b) snage u zavisnosti od brzine kretanja

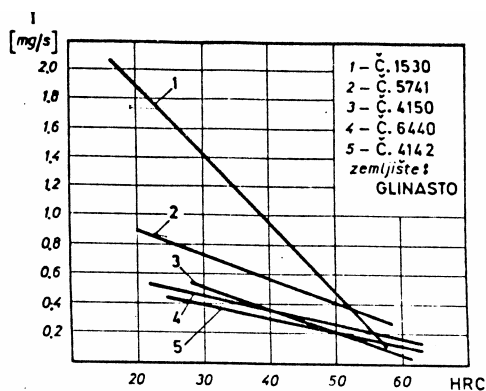
Materijal za izradu radnih elemenata je najčešće ugljenični čelik sa sadržajem ugljenika od 0,45 do 0,70% ugljenika, legirani čelici uz obaveznu termičku obradu i troslojni materijali. Pore termičke obrade izoternog kaljenja primenjuje se hemijsko termička obrada niskougljeničnih i legiranih čelika, u cilju postizanja veće tvrdoće površinskog sloja i otpornost na habanje, koroziju i veću dinamičku čvrstoću. Na slici 8. prikazano je istrošenje ugljeničnih i legiranih čelika različitog hemijskog sastava i oznaka, od kojih se izrađuju radni elementi pri obradi glinastog zemljišta vlažnosti 5 do 7.3% u zavisnosti od tvrdoće HRC čelika.

Sa dijagrama se može zaključiti da se povećanjem tvrdoće čelika istrošenje smanjuje. Za Č.1530 pri promeni tvrdoće od 40 na 55 HRC istrošenje se smanjuje 5 puta, dok kod legiranih čelika istrošenje se smanjuje 2 puta, odnosno istrošenja su manja i pri nižim tvrdoćama. Istraživanja su pokazala da istrošenje na različitim zemljištima nije isto što ukazuje na međuzavisnost vrste i stanja zemljišta i na legirajuće elemente čelika i to mangana, nikla, hroma, molibdena, titana volframa itd. Pored klasičnih materijala, ubrzana su istraživanja koja se odnose na kompo-

zitivne materijale sa ojačanjima (u obliku čestica, kratkih i dugih vlakana) koji obezbeđuju homogenost, obradljivost, tvrdoću i otpornost na habanje.

Promena koeficijenta trenja radnih elemenata i zemljišta uslovljava i promenu vrednosti otpora pri eksploataciji. Istraživanja u cilju određivanja koeficijenta trenja materijala Č.4320 za različite vrste zemljišta: ritske crnice, ritske smonice i aluvijuma pri promenljivoj vlažnosti od 15 do 25% ukazuju da se koeficijent trenja povećava sa porastom vlažnosti za 90 do 100% i da je karakter promene sličan za sva tri ispitivane vrste zemljišta. Povećanje koeficijenta trenja ima za posledicu povećanje vučne sile i istrošenje površine što dovodi do povećanja utroška energije i promene geometrijskih parametara radnih elemenata. U cilju smanjenja koeficijenta trenja između zemljišta i površine radnog elementa koriste se pluzne daske izrađene od traka postavljene u pravcu kretanja plastice, vibrirajuća pluzna tela, nanošenje vode i vazduha pod pritiskom na radne površine, pluzne daske od plastike ili kompozita, nanošenje prevlake od tvrdih materijala itd.

Kombinacije više baterija različitih radnih elemenata kod mašina za obradu zemljišta, pa i kombinacija pasivnih i aktivnih, ukazuju na kvalitetniju obradu uz manji utrošak energije. Ovakav koncept se primenjuje kod mašina za obavljanje nekoliko operacija u jednom proходу.



Sl. 8. Zavisnost istrošenja od tvrdoće materijala

#### 4. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja ukazuju da optimizacija radnih elemenata poljoprivrednih mašina za obradu zemljišta zahteva analizu brojnih parametara. To se prvenstveno odnosi na oblik i geometrijske parametre, a kod aktivnih i pogonjenih radnih elemenata na kinematske i dinamičke parametre. Dalji razvoj ovih tehničkih podsistema treba usmeriti u iznalaženju novih oblika alata, putanja kretanja, materijala sa manjim koeficijentom trenja i većom otpornošću na istrošenje, uz vođenje računa o masi, kvalitetu rada, energetskim pokazateljima, održavanju, proizvodnosti, ceni i uklapanju u koncept mašina za obavljanje nekoliko operacija u jednom proходу.

## LITERATURA

- [1] Ercegović Đ, Veljić M.: Značaj i mogućnosti određivanja koeficijenta trenja zemljišta o radne površine poljoprivrednih mašina, Tribologija u industriji, br. 4, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1966.
- [2] Marković D., Veljić M., Mitrović Z.: Energetska analiza tehničkih sistema u obradi zemljišta, Jugoslovenski naučni časopis Savremena poljoprivredna tehnika, br. 3, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 1995.
- [3] Marković D.: Razvoj nove generacije univerzalnih rotacionih mašina za obradu zemljišta sa aktivnim brzo izmenljivim rotorima. Projekat, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1995.
- [4] Veljić M.: Razvoj rešenja mašina za obradu zemljišta sa rotacionim kretanjem noža, IV Jugoslovenski simpozijum: Mašine i mehanizmi, Univerzitetska istraživanja i primena u industriji, Zbornik radova IFToMM, Mostar, 1983.
- [5] Veljić M.: Razvoj oscilatornih sistema kod mašina za obradu zemljišta, Zbornik radova IRMES 95, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 1995.
- [6] Veljić M., Ercegović Đ., Doršević V.: Application of Protective Coating Against Wear of Soil Treating Agricultural Machinery Tools, Tribology in industry, N° 1, Mechanical Engineering Faculty, Kragujevac, 1977.
- [7] Veljić M.: Tehnološki procesi mehanizovane poljoprivrede, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1997.
- [8] Veljić M., Arandelović I., Marić D.: Nove tehnologije obrade zemljišta sa rotacionim kretanjem alata. Poljoprivredna tehnika, br. 1/2, Beograd, 1999.
- [9] Veljić M, Marković D, Marić D.: Mogućnost smanjenja utroška energije pri obradi zemljišta, Traktori i pogonske mašine, No. 4, Novi Sad 1999.
- [10] Mičić J., grupa autora: Savremena poljoprivredna tehnika u biljnoj proizvodnji, Monografija, Poljoprivredni fakultet, Beograd 1997.
- [11] Matthies H.J, Meir F.: Jahrbuch Agrartechnik, Agricultural Engineering, VDMA Landtechnik, VDI-MEG 2002.

**Napomena:** Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja koji delom finansira MNZŽS.EVB-PTP-6926B. i EVB PTP- 2088B.

## PARAMETER OPTIMIZATION OF WORKING ELEMENTS OF TILLAGE AGRICULTURAL MACHINES

**Milan Veljić, Dragan Marković**

*Faculty of Mechanical Engineering - Belgrade*

**Abstract:** This work presents possibilities of parameter optimization of tillage agricultural machine tools referring to the shape, dimensions, kinematics, material, mass, and price. These parameters are analyzed in connection with applying conditions, agricultural engineering demands, work quality, energetic parameters, as well as universality and accordance with production abilities of work and propelling machine.

**Key words:** tillage tools, parameters, optimization.