

**Biblid:** 0350-2953 (2007) 33: 1-2, p. 60-67

Pregledni rad

**UDK:** 631.354:633.63

Review paper

## **NOVE KONCEPCIJE SAMOHODNIH KOMBAINA ZA ŠEĆERNU REPU** **NEW DESIGN OF SUGAR BEET COMBINE HARVESTER**

Marković D,\* Klester A,\*\* Branković D.\*\*\*

### **REZIME**

U radu je prikazana analiza tehnoloških šema savremenih kombajna za šećernu repu sa bunkerom, kao i detaljna analiza potpuno nove tehnološke šeme, koju je predstavila nemačka firma "Grimme". Pored tehnološke šeme kombajna "grimme", prikazan je i njegov hodni sistem sa gusenicama, kao i sistem za automatsku regulaciju bočnog nagiba. Delimično je obrađen i novi elektronski sistem za potpuno automatsko upravljanje radnim organima kombajna u zavisnosti od radnih uslova. Postoje ovi kombajni sa novom tehnološkom šemom nalaze u eksploataciji u Srbiji poslednje dve godine, rad prikazuje i prva iskustva kombajna "grimme" u radu.

**Ključne reči:** Kombajn za šećernu repu, tehnološka šema, propusna moć

### **SUMMARY**

This paper analyzes technological schemes of modern sugar beet harvesters with bunker, as well as completely new technological scheme which was developed by German company Grimme. Besides technological scheme, caterpillar drive is presented as well as new automatic side leveling system. New automatic control system for working organs, which changes working regime in correlation with work conditions was shown. Since these machines have been working in Serbia for the last two years, the first experience in exploitation is presented.

**Key words:** Sugar beet harvester, technological scheme, throughput

### **UVOD**

Prvi samohodni kombajn za šećernu repu ušao je u upotrebu 1974. godine u Holandiji. Danas, 30 godina kasnije, šestoredni kombajni sa bunkerom osnovni su kombajni za ubiranje šećerne repe, kako u svetu, tako i u Srbiji. U Srbiji smena tehnoloških generacija kombajna počela je 2000. godine, da bi danas kombajni sa klasičnom tehnološkom šemom i bunkerom postali nosioci posla vađenja šećerne repe.

---

\* Dr Dragan Marković, redovni profesor, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Katedra za poljoprivredno mašinstvo

\*\* Alexander Klester, Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG

\*\*\* Dragan Branković, ITN Food Business Development, Beograd

## **DISKUSIJA**

### **RAZVOJ SAMOHODNIH KOMBAJNA ZA ŠEĆERNU REPU SA BUNKEROM**

Trendovi razvoja, kao i inovacije u ovoj oblasti, dolaze od proizvođača iz Evrope, i to prvenstveno iz Nemačke, Holandije i Francuske. Svi proizvođači usvojili su koncept šestorednog kombajna, sa tarupom i vadicom ispred prednje osovine, i bunkerom kapaciteta 24-32m<sup>2</sup>. Devetoredne kombajne razvio je manji broj proizvođača (prvenstveno iz Holandije), dok su dvanaestoredni kombajni za sada samo marketinški potezi proizvođača i imaju isti kapacitet, kao i devetoredni kombajni.

### **ANALIZA POSTOJEĆIH TEHNOLOŠKIH ŠEMA**

U ovoj analizi postojećih savremenih kombajna za šećernu repu, kombajni su podeljeni na tehnološke celine, i to:

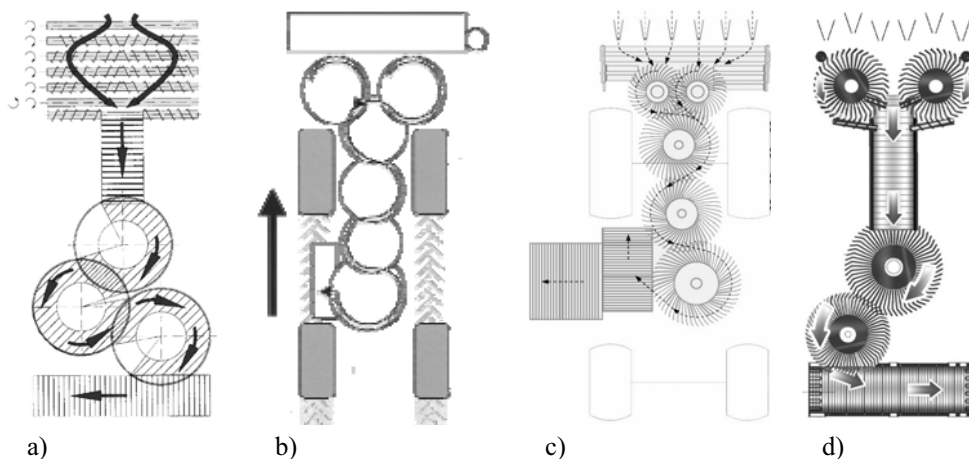
- Sekač lista i glava
- Vadicica
- Sistem za čišćenje
- Bunker
- Hodni sistem

Sekač lista (često korišćen naziv-tarup) je najmanje menjan tehnološki deo kombajna, nasleđen još sa vučenih linija za šećernu repu. Pogon je uvek preko klipno-aksijalnog hidromotora, a prenos se obavlja klinastim kaiševima. U zavisnosti od strane na kojoj se nalazi elevator za pražnjenje bunkera, na sekač lista montiran je ili razbacivač lisne mase ili elevator za transport lisne mase u prikolicu. Vrlo često, u uslovima vađenja šećerne repe sa razvijenom lisnom masom i prisustvom korova, pritisak u hidrauličnom kolu za pogon sekača lista je parametar koji definiše radnu brzinu kretanja kombajna. Svaki proizvođač razvija sopstvene sekače glave, i ukoliko postoje određene razlike u pristupu konstrukciji ovih radnih uređaja, osnovni principi su vrlo slični.

Vadicica s oscilujućim raonicima dominantan je tip na svim kombajnama, dok geometrija kretanja raonika, kao i mogućnost za podešavanje brzine zavisi od proizvođača. Neki proizvođači nastavili su razvoj vadicice sa diskovima, i imajući u vidu njenu prednost u uslovima vađenja bez vlage, nude je kao alternativu vadicici sa raonicima.

Najveća razlika među proizvođačima vidljiva je u izboru sistema za čišćenje. Sistem za čišćenje može biti kombinacija valjaka sa spiralnim profilom, elevatora sa letvicama i turbina. Sistem za čišćenje najčešće je projektovan prema uslovima vađenja koji vladaju u zemlji porekla mašine, što može biti nedostatak, ukoliko sistem ne poseduje veliku fleksibilnost. Na slici 1 prikazani su najčešće korišćeni sistemi za čišćenje.

Bunker šestorednih kombajna za šećernu repu najčešće je zapremine od 24m<sup>3</sup> (cca. 17-18 t), tj. maksimalna masa kombajna sa dve osovine dostiže oko 45 t. Ipak, bunker ovog kapaciteta zahteva pražnjenja 3 puta na jednom hektaru (s obzirom na prosečan prinos od 50 t/h), čime logističko praćenje kombajna u parceli postaje bitan činilac koji utiče na učinak kombajna.



Sl. 1 Sistemi za čišćenje savremenih kombajna za šećernu repu

Fig. 1 Modern sugar beet harvesters - cleaning systems

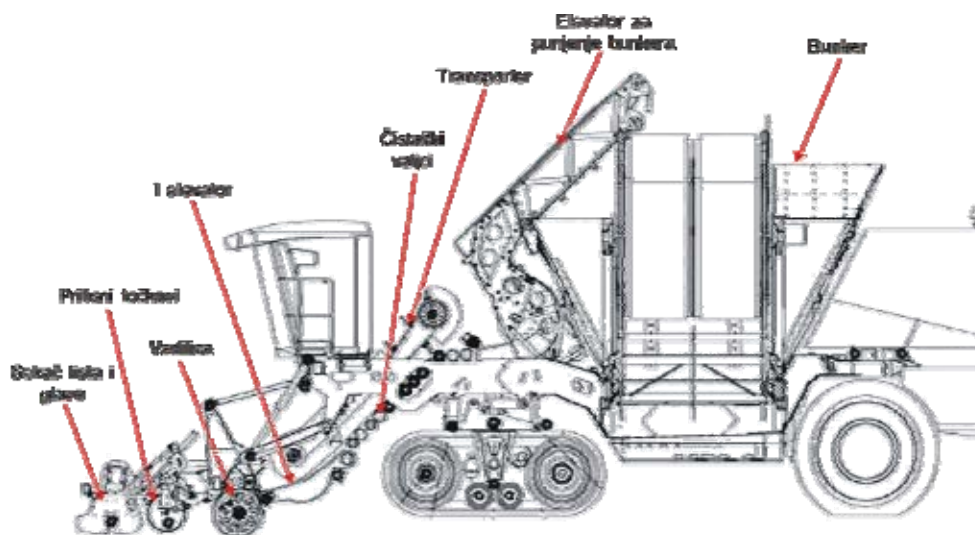
Povećanje kapaciteta bunkera moguće je samo povećanjem gabarita (tj. dužine kombajna), dodavanjem dodatne osovine, što ima za posledicu povećanje ukupne dužine na 15 m i maksimalne mase kombajna od 55 t!

Hodni sistemi kombajna nisu pretrpeli prevelike izmene, osim u smislu praćenja razvoja hidrostatičkih komponenti koje su ugrađene. Veliki pomak predstavlja početak integracije „SmartDrive“ sistema. Ipak svi kombajni su po svojoj koncepciji „točkaši“, i ukoliko su primenjeni širokobalonski "terra" pneumatici, prethodno pomenuta maksimalna masa kombajna stvara jasnu sliku o sabijanju zemljišta, usled upotrebe ovih mašina.

#### NOVE TEHNOLOŠKE ŠEME

Očigledno je da prikazane tehnološke šeme, koje su proizvođači usavršili do krajnjih granica, ne mogu biti osnov za dalje povećanje kapaciteta kombajna za šećernu repu. Postojeće tehnološke šeme mogu da dovedu do povećanja kapaciteta samo ukoliko se povećaju gabariti samog kombajna, ali imajući u vidu ograničenja Evropske unije o dozvoljenoj širini i osovinskom opterećenju, jasno je da je neophodna potpuno nova tehnološka šema kombajna kako bi se u istim gabaritima mašine (cca. 3.5x4.0x12m) postigla veća propusna moć, ali i poboljšao ukupni kvalitet rada kombajna, koja se prvenstveno ogleda u manjem lomu izvađenog korena i nižem procentu nečistoća.

Na sajmu Agritechnica u Hannoveru 2003. godine nemačka firma "Grimme", predstavila je svoj šestoredni kombajn za šećernu repu sa novom tehnološkom šemom koja je prikazana na slici 2.



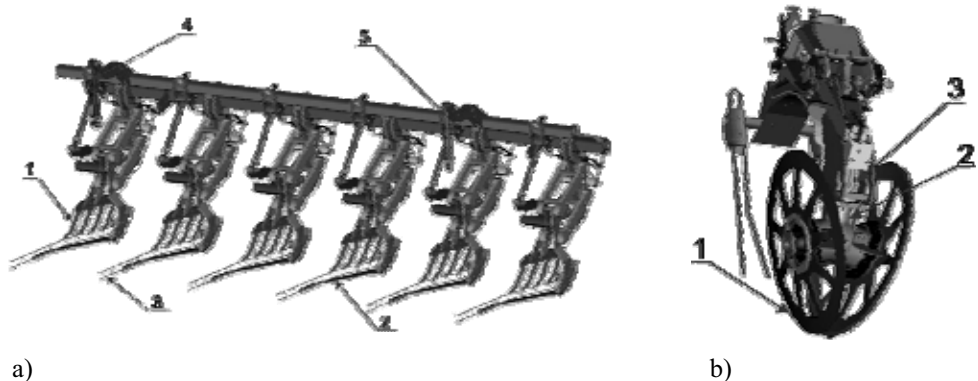
Sl. 2 Novi koncept kombajna za šećernu repu

Fig. 2 New design of sugar beet harvester

Kombajn "maxtron" 620 prvi je kombajn za vađenje korena šećerne repe u jednom prolazu koji je potpuno kompjuterski dizajniran. Po svojoj konstrukciji je samohodni šestoredni kombajn, sa bunkerom kapaciteta 32m<sup>3</sup> (22 t). Tehnološka šema kombajna prikazana je na slici 2. i sastoji se od:

Sekač lisne mase i glave je standardan, tzv. "InLine" sistem (slika 1a). Odsečena lisna masa se ne transportuje pužnim transporterom do razbacivača lista (kao na klasičnim rešenjima), nego se preko posebnih limova-usmerivača s unutrašnje strane oplata sekača ostavlja u trakama između redova korena šećerne repe. Nakon odsecanja glave korena, pre vadilice se nalazi osovinica sa 7 metalnih točkova, koji odsečenu lisnu masu i glave utiskuje u zemlju. Sekač glave šećerne repe izveden je dugačkim noževima i blažim uglom u odnosu na pravac kretanja kombajna, a vezivanje je sistemom paralelograma. Podešavanje visine odsecanja glave obavlja se iz kabine kombajna, a izvršava se hidrauličnim cilindrima na levoj i na desnoj strani (slika 2a). Ovakav princip odsecanja lista i glave omogućava kombajnu "maxtron" da radi samostalno u svim parcelama, bez potrebe da u određenim slučajevima vučene linije za šećernu repu preseku njivu ili izvade uvratine. Takođe, izbegava se bacanje vlažne i klizave lisne mase pod traktor, koji izvlači repu sa parcele.

Vadilica na kombajnu "maxtron" (slika 2b), izvedena je kao hibridno rešenje između vadilice sa raonicima i vadilice sa diskovima, koje sadrži sve prednosti obe tipa vadilice. Ovakav sistem vađenja je već primenjen na drugim kombajnama, međutim, novina ovog sistema je aktivni i nezavisni pogon svakog elementa vadilice. Iako konstrukciono ovaj sistem može da radi kao pasivan sistem i da koristi samo kinetičku energiju kretanja kombajna za vađenje, radi povećanja propusne moći kombajna, diskovi imaju aktivni hidraulični pogon, koji se prenosi na diskove preko ugaonog reduktora (slika 3b). Brzina diskova vadilice je kontinualno promenljiva i ima mogućnost okretanja u kontra smeru radi odgušenja, a sami diskovi izrađeni su od specijalnog "hardox" materijala, što im daje duži životni vek od klasičnih diskova od liva.



a)

Sl 3 a) Sekač glave: 1) Češalj; 2) Nož; 3) Usmerivač; 4,5) Hidraulični cilindar

b) Vadilica: 1) Disk vadilice; 2) Reduktor; 3) Hidromotor

Fig. 3 a) Scalpel: 1) Comb; 2) Knife; 3) Guidance spring; 4,5) Hydraulic cylinder

b) Lifter: 1) Lifter disc; 2) Gearbox; 3) Hydraulic motor

Radi integracije sa "VisionControl" elektronskim sistemom, svaki hidromotor opremljen je sa senzorom pritiska, koji daje informacije računaru i rukovaocu o opterećenju svakog elementa vadilice. Da bi se eliminisao problem nepravilne setve, svaki element vadilice automatski prati red i sposoban je da obavlja bočna pomeranja do 80 mm.

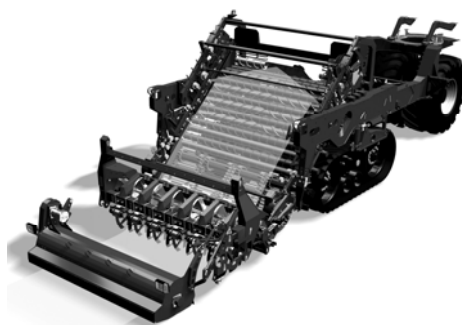
Sistem za čišćenje, "OptiFlow" (slika 4), sastoji se od prvog elevatora (neposredno iza vadilice), sistema od 10 valjaka pod nagibom, različitih materijala (metal, poliuretan,...) i profila (spirala, gladak profil,...), tri horizontalna valjka, dva transportna elevatora za punjenje bunkera i jednog elevatora za pražnjenje bunkera. Prvi transportni elevator odvaja grube nečistoće i delimično prečišćenu šećernu repu transportuje do čistačkih valjaka. Čistački valjci su različitih profila i materijala u zavisnosti koju namenu imaju u sistemu za čišćenje (čišćenje blata, lisne mase...). Ovi valjci imaju nekoliko bitnih tehničkih karakteristika:

- širina valjaka je 2,8 m, čime se put korena šećerne repe od vadilice do finalne faze čišćenja (elevatori za punjenje bunkera) ne sužava
- svaki valjak ima nezavisan hidraulični pogon
- valjci br. 2 i 4 (gde je valjak br. 1 najbliži vadilici) imaju mogućnost pomeranja iz ose u odnosu na ostale valjke, čime se koren repe duže zadržava na čišćenju
- valjci br. 3, 5, 7 i 9 imaju mogućnost promene osnog rastojanja između susednih valjaka, čime se sistem za čišćenje prilagođava veličini korena i smanjuju se gubici sitnijih korena
- svi valjci imaju senzore koji omogućavaju računaru da automatski promeni smer okretanja, ukoliko dođe do zagušenja
- svi valjci mogu međusobno da menjaju mesta, tako da konfiguracija valjaka može da se promeni u zavisnosti od uslova za rad kombajna (izbor agresivnijeg ili nežnijeg čišćenja)

- kontrola režima rada valjaka je automatska i odvija se po unapred zadatim programima (maksimalan broj programa je 16), a može i ručno da se podešava; moguća je i izmena postojećih programa.

Iznad čistačkih valjaka nalazi se elevator sa letvicama na koje su postavljeni gumeni prsti, koji omogućavaju ravnomeran maseni protok preko valjaka za čišćenje, kao i rotiranje korena šećerne repe, radi boljeg čišćenja. Brzina ovog elevatora kontroliše se nezavisno iz kabine, čime je omogućena kontrola vremena trajanja procesa čišćenja.

Nakon čišćenja, put korena se sužava na širinu elevatora za punjenja bunkera, koji se sastoji od dve transportne trake širine 1,2 m. Elevator ima optički senzor pomoću kojeg se automatski reguliše visina elevatora u zavisnosti od popunjenosti bunkera, a sve radi manjeg loma očišćenog korena šećerne repe.



Sl. 4 Sistem za čišćenje „OptiFlow“

Fig. 4 Cleaning system „OptiFlow“

Bunker je izveden u obliku zarubljene piramide sa sklopivim stranicama i ima kapacitet 32 m<sup>3</sup>, odnosno cca. 22 t. Ovakva konstrukcija bunkera isključuje potrebu za pužnim transporterom i omogućava da bunker ima samo jedan elevator na podu, koji šećernu repu transportuje direktno na elevator za pražnjenje bunkera širine 1,8 m. Bunker je oslonjen na šasiju preko četiri hidraulična cilindra, koji bočno nivelišu bunker u slučaju rada na strmim terenima ili neravnomerne popunjenosti bunkera. Pored povećanog kapaciteta bunkera i pojednostavljene konstrukcije (samo jedan elevator u bunkeru), ovakav bunker, zajedno sa sistemom za čišćenje omogućava rukovaocu potpunu preglednost prilikom istovara u transportno sredstvo ili na prizmu.

Hodni sistem kombajna, pored svoje osnovne uloge, pokretanje kombajna, mora da zadovolji sve strožije zahteve u vezi sa radom kombajna u teškim uslovima (blato, sneg,...), ali i da obezbedi što manje sabijanje zemljišta. Razvoj pogona sa gusenicama u poslednjih 10 godina, kao i smanjenje cene, doprineo je da se sve više ide ka zameni jedne osovine kombajna s gusenicama. Pored očigledne prednosti gusenica, a to je veća kontaktna površina sa tlom (svaka gusenica kombajna "maxtron" ima kontaktnu površinu od 0,89x1,8 m), gusenice imaju niži profil (standardni prednji točak klasičnih kombajna za šećernu repu je 800/65R32, tj. ima visinu od 1,85 m, dok je visina gusenica 1 m), što omogućava dobitak od gotovo 1 m efektivne visine za povećanje kapaciteta sistema za čišćenje i bunkera.

Generalni problem poljoprivrednih mašina velikih gabarita (prvenstveno dužine) jeste i upravljivost, odnosno okretnost. Klasičan kombajn za šećernu repu, čak iako ima zglobnu

šasiju, koja omogućava tzv. "kereći hod", nije u stanju da prilikom završetka vađenja linije od 6 redova napravi zaokret od 180° i nastavi vađenje u sledećoj liniji, bez dodatnog manevrisanja. Zbog toga kombajn "maxtron" ima centralno smešten par zadnjih točkova dimenzija 900/60R32 sa maksimalnim uglom zakretanja od 70°, čime je u kombinaciji upravljanjem na gusenicama, unutrašnji krug okretanja kombajna sveden na 1m. S obzirom na to da su centralno postavljeni, zadnji točkovi ne prolaze po tragu gusenica, tj kompletna masa kombajna je ravnomerno raspoređena preko cele širine.



Sl. 5 Hodni sistem kombajna "maxtron"

Fig. 5 Maxtron drive system

Elektronski sistem kombajna, "VisionControl", izrađen je na platformi MS Windows i svojim grafičkim interfejsom potpuno je "user friendly" (prijateljski naklonjen prema rukovaocu). Centralni deo sistema zauzima 5 računara koji kontrolišu sve funkcije kombajna. Rukovalac upravlja kombajnom i njegovim radnim parametrima preko "Touch Screen" grafičkog ekrana. Sistem, osim potpunog automatskog rada svih radnih organa, omogućava uvid u opterećenje (izraženo u procentima od maksimalno dozvoljenog) svakog radnog organa kombajna, kao i samo-dijagnostiku. S obzirom na kompleksnost "VisionControl" sistema, zbog veličine rada, ovaj deo je informativno opisan.

#### PRVA ISKUSTVA U EKSPLOATACIJI U SRBIJI

U Srbiji, od 2005. godine, rade dva kombajna "maxtron" 620. U poslednjoj sezoni izvadili su u proseku oko 800 ha, dnevni učinci su bili do 30 ha, a radne brzine od 6-8 km/h. Iskustva su pokazala da kombajn zaista ima veći kapacitet od drugih kombajna, ali je pokazao prednosti i u vidu smanjenih gubitaka i nečistoća. Kao referenca korišćeni su rezultati ispitivanja, koje je sproveo Univerzitet u Bonu [11] - prikazani u tabeli 1.

Tab. 1 Rezultat IIRB testa

Tab. 1 IIRB test results

Parametri Parameters	Radna brzina Working speed	Protok mase Mass throughput	Dubina vađenja Working depth	Vlažnost Moisture	Nečistoće Impurities	Lom Breakage
"Maxtron" 620	5,9 km/h	128,8 t/h	8,5 cm	12,0 %	12,0 %	2,3 %

Praćenje rada kombajna u trajanju od 10 dana, u vremenu od 60 dana, pokazalo je da u uslovima u Srbiji, kombajni "maxtron" premašuju gore navedenu propusnu moć, istim kvalitetom ubiranja, što je bilo očekivano, jer su kombajni u Srbiji modifikovani na nivo kombajna iz 2006. godine, a Univerzitet u Bonu testirao je model iz 2005. godine.

### **ZAKLJUČAK**

Klasični kombajni za šećernu repu sa bunkerom, posle 30 godina razvoja i osavremenjivanja, dostigli su vrhunac u pogledu kapaciteta i propusne moći. Novi zahtevi kada je reč o vađenju šećerne repe koje diktiraju šećerane, sve strožiji propisi EU o sabijanju zemljišta, emisiji štetnih gasova itd, ali i globalne klimatske promene koje uslovljavaju skraćeno vreme vađenja šećerne repe, primoravaju proizvođače kombajna da napuste tradicionalne tehnološke šeme i da radikalno promene pristup prilikom konstruisanja novih modela kombajna. Posle 7 godina razvoja i testiranja, kombajn fabrike "Grimme", "maxtron" postao je kombajn koji će postati uzor ostalim proizvođačima. Takođe, s obzirom na tendenciju setve šećerne repe na gredice, kao i na stogodišnje iskustvo koje kompanija "Grimme" ima u ovakvoj tehnologiji, realno je očekivati vodeću ulogu kombajna "maxtron" u budućnosti.

### **LITERATURA**

1. CLAAS: Terra-Trac Operating Manual, Nemačka, 2005.
2. FAT Bericht: Zuckerrüben: Erntetechnik und Bodenschutz, Švajcarska 2001.
3. Frans Vervet BV: 17-T Catalogue, Holandija 2005.
4. Grimme: Service Training S05681EN, Nemačka 2006.
5. Grimme: User Manual B05681EN, Nemačka 2005.
6. Holmer Maschinenbau: User Manual TerraDos, Nemačka 2005.
7. Marković D. 1997. Transport u poljoprivredi, Mašinski fakultet, Beograd.
8. Lammers P.S: Research Activities in Sugar Beet Seeding and Harvesting, University of Bonn, Faculty of Agricultural Engineering.
9. Ropa Fahrzeug und Maschinenbau GmbH: EuroTiger V8h catalogue, Nemačka 2006.

Primljeno: 15.01.2007.

Prihvaćeno: 16.01.2007.