

## PRIMENA LASERSKIH SISTEMA UPRAVLJANJA KOD POLJOPRIVREDNIH MAŠINA

### APPLICATION OF LASER CONTROL SYSTEM IN AGRICULTURAL MACHINES

Gligorević K., Vukić Đ., Oljača M., Ercegović Đ., Pajić M., Radojević R.<sup>1</sup>

#### REZIME

*U radu je prikazan pregled nekoliko primera primene laserskog upravljanja poljoprivrednim mašinama i njihovim radnim organima s ciljem preciznijeg izvršenja radnih operacija i skraćanja vremena obavljanja istih. Predstavljene su osnovne komponente sistema laserskog upravljanja, a takođe je dat i opis rada sistema na nekoliko primera. Na kraju je prikazan kraći pregled i analiza razvoja sistema laserskog upravljanja, a takođe su razmatrani budući trendovi razvoja ovih tehničkih sistema i mogućnosti primene na poljoprivrednim mašinama.*

**Ključne reči:** Lasersko upravljanje, laser, prijemnik, poljoprivredne mašine.

#### SUMMARY

*The paper presents a review of several examples of agricultural machines and their working elements laser control, with the aim of precise execution of working operations and shortening the time of performing them. Basic components of laser control systems are presented, along with the description of the system in several examples. Finally, the short survey and analysis of the laser control systems development is presented. Also, further developments of technical systems and possibilities of application of agricultural machinery are discussed.*

**Keywords:** laser control, laser, receiver, agricultural machinery

#### UVOD

Elektronski sistemi i komponente su danas sastavni deo savremene poljoprivredne mehanizacije [1]. Ovi sistemi su integrisani i međusobno povezani, kako bi omogućili bolje eksploatacione karakteristike i povećanje sigurnosti rada takvih mašina, kako s aspekta olakšanja rada i sigurnosti samog rukovaoca, tako i s aspekta sigurnosti i pouzdanosti izvršenja same radne operacije.

Krajem 80-ih godina, u Svetu, u proizvodnji poljoprivrednih mašina masovno počinju da se

---

<sup>1</sup>Kosta Gligorević, Đukan Vukić, Mićo V. Oljača, Đuro Ercegović, Miloš Pajić, Rade Radojević  
Poljoprivredni fakultet. Univerzitet u Beogradu. Institut za poljoprivrednu tehniku. e-  
mail:koleg@agrif.bg.ac.rs. Tel: +381 11 2615 315 lok. 475.

koriste elektronski sistemi i komponente [1]. Oni su se prvenstveno odnosili na upravljanje radom motora, da bi se kasnije njihova upotreba proširila i na ostale sisteme poljoprivrednih mašina, kao što su sistem transmisije, sistem upravljanja radnim organima i kontrolu radnog procesa, kočioni sistem, sistem za upravljanje i hodni sistem.

Danas se elektronski sistemi primenjuju na većini savremenih poljoprivrednih mašina, regulišu njihov režim rada, vrše kontrolu i ispravljaju greške u radnom procesu, nastale kao posledica uslova eksploatacije.

Jedan od primera primene elektronskih sistema koji su ređe zastupljeni na savremenoj poljoprivrednoj mehanizaciji su elektronski laserski sistemi za upravljanje i kontrolu. Ovi sistemi podrazumevaju primenu tehnologija koje se baziraju na upotrebi lasera.

Pregledom stručne literature i internet sajtova [6], [7], [11] koji se bave problematikom primene laserskih sistema upravljanja, može se zaključiti da se ove tehnologije ubrzano razvijaju. Svesni prednosti i benefita koje ove tehnologije donose, proizvođači i korisnici ovih sistema su uvideli da se njihovim usavršavanjem i upotrebom, radni procesi podižu na jedan sasvim novi nivo, pri čemu se ističu brzina izvršavanja radnih operacija, kvalitet i preciznost izvršenih operacija, kao velike energetske uštede.

Prvenstveno, sistemi laserskog upravljanja pojavili su se na meliorativnoj mehanizaciji [8] i to najpre kod mašina za iskop i uređenje zemljišta, da bi se kasnije uvidela svrsishodnost primene i kod nekih poljoprivrednih mašina poput kombajna ili mašina za uređenje poljoprivrednih površina.

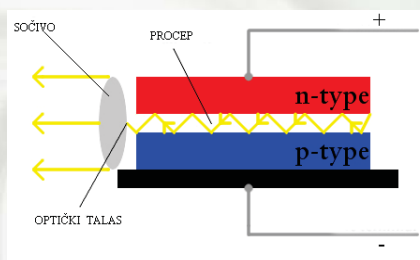
### PRIMERI PRIMENE LASERSKIH SISTEMA UPRAVLJANJA KOD POLJOPRIVREDNIH MAŠINA

Laserski sistemi upravljanja na poljoprivrednoj mahanizaciji nisu često zastupljeni iz razloga što se većina potreba za automatizacijom radnih procesa u poljoprivredi i na samoj mašini se može ostvariti elektronskim sistemima koji ne primenjuju tehnologije bazirane na upotrebi lasera. Neophodno je pomenuti i tu činjenicu da su elektronski sistemi bazirani na tehnologiji lasera znatno skuplji, te je stoga njihova upotreba ograničena na uslove u kojima klasični elektronski sistemi, ne mogu da zadovolje tražene kriterijume.

Ovi laserski sistemi sastoje se iz dve osnovne komponente i to:

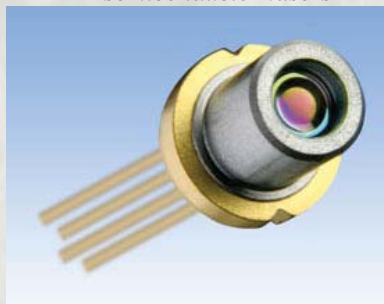
- ◆ emitera laserskog zraka
- ◆ prijemnih senzora.

Emitere laserskog zraka u slučaju pomenutih sistema upravljanja najčešće predstavljaju poluprovodnički laseri. Poluprovodnički laser



Sl.1. Šematski prikaz poluprovodničkog lasera

Fig.1. Schematic diagram of semiconductor lasers



Sl.2. Laserska dioda  
Fig.2. Laser diode

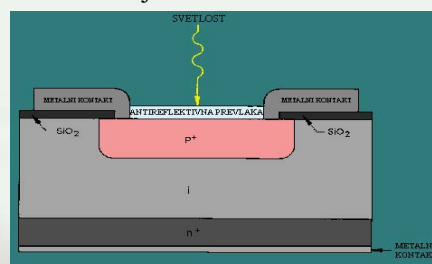
(Sl.1.) je uređaj za emitovanje optičkog talasa baziranog na stimulisanoj emisiji fotona pri prelazima elektrona u poluprovodniku sa višeg na niži energetske nivo, tj. sa prelaskom iz provodne u valentnu zonu. Najčešći tip poluprovodničkih lasera su laserske diode (Sl.2.).

Prijemne senzore čine foto diode (Sl.3.), koje funkcionišu na principu konverzije optičke energije u električnu veličinu. Foto dioda reaguje na pojavu svetlosti generišući električnu energiju. Fotoni izbijaju elektrone iz orbita u oblasti spoja poluprovodničkih elemenata što je uzrok pojave električne struje. Ovako generisana električna energija predstavlja izlazni signal iz senzora koji nakon pojačanja u pojačivaču registruje računarska jedinica.



Sl.3. Šematski prikaz foto diode

Fig.3. Schematic diagram of photo diodes



Sl.4. Razni oblici foto dioda

Fig.4. Various forms of photo diode

U radu će biti predstavljena dva primera upotrebe laserskih sistema upravljanja na poljoprivrednoj mehanizaciji. Ovi sistemi su konstruktivno i namenski različiti, a zajedničko im je to što koriste tehnologiju baziranu na upotrebi lasera.

#### **Automatski laserski sistem sa elektro-hidrauličkom akcijom upravljačkim sistemom univerzalnog žitnog kombajna (CLASS LEXION)**

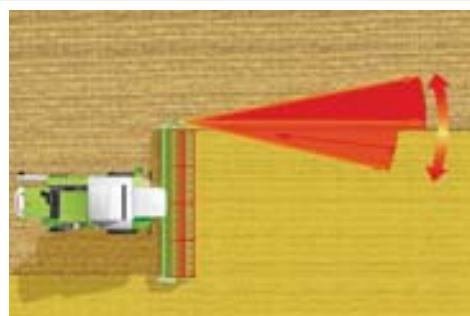
Ovaj laserski sistem predstavlja jedno od novijih tehničkih rešenja, a može biti primenjen na univerzalnim žitnim kombajnama klase Lexion ( Sl.5.) i uglavnom predstavlja dopunski deo opreme, koji se ugrađuje u zavisnosti od želje kupca. Komercijalni naziv ovog laserskog uređaja za upravljanje je laserski pilot uređaj ili laser pilot.



Sl.5. Izgled i položaj laserskog sistema Laser pilot na kombajnu Lexion 580 [6]  
Fig.5. The appearance and position of the laser system on combines Lexion 580 [6]

Tehničko rešenje je prvi put predstavljeno na univerzalnom žitnom kombajnu Class Lexion 480 [6]. Sistem se sastoji iz kontrolnog i izvršnog dela.

Kontrolni deo ovog automatskog laserskog sistema nalazi se na bočnim stranama hedera univerzalnog žitnog kombajna i sastoji se od emitera laserskog zraka i prijemnog senzora (Sl.1.). Emiter laserskog zraka emituje isprekidani, nevidljivi (infracrveni) laserski zrak, frekvencije 60 MHz, pri čemu se emiter neprestano pomera na levo i desno za 6° u odnosu na vertikalnu osu pokrivajući na taj način željenu radnu zonu (Sl.6.).



Sl.6. Zona dejstva laserskog sistema [6]  
Fig.6. Beam effects of laser system [6]

Nepožnjene stabljike i strnjika različito reflektuju ovaj laserski zrak. Prijemni senzor registruje reflektovani laserski zrak i meri vremensku razliku od trenutka odašiljanja do trenutka prijema svetlostnog pulsa. Na ovaj način se precizno meri rastojanje između vrha nepožnjene stabljike i prijemnog senzora i vrha strnjike i prijemnog senzora, a mesto gde se javi razlika u rastojanju predstavlja granicu između požnjevenog i nepožnjevenog dela parcele.

Računarska jedinica sistema, kontinuirano prati rezultate merenja prijemnog senzora i u zavisnosti od položaja ivice hedera i utvrđene granice između požnjevenog i nepožnjevenog dela parcele, daje komandu izvršnom delu sistema o neophodnim korekcijama pravca kretanja mašine. Skeniranje površine parcele se vrši tri puta u sekundi.

Izvršni deo sistema predstavlja hidrostatički upravljački sistem kombajna, kojim u slučaju aktiviranog sistema Laser Pilot upravlja računarska jedinica preko step motora instaliranog na vratilu upravljača.

Prednosti upotrebe ovog laserskog sistema su brojne, od kojih su najvažnije:

- ◆ bitno smanjenje angažovanosti rukovaoca mašine,
- ◆ znatno povećanje učinka rada zbog smanjenog preklapanja prohod,
- ◆ optimalno iskorišćenje radnog zahvata hedera,
- ◆ mogućnost primene ovog sistema u raznim eksploatacionim uslovima (povećana brzina, smanjena vidljivost).

***Laserski sistem za kontrolu i upravljanje radom dozera ili grejdera sa i bez elektro-hidraulične akcije radnih organa pomenutih mašina (LEICA PowerBlade, PowerGrade).***

Precizno ravnjanje poljoprivrdnog zemljišta sa preciznošću ostvarenog nagiba od  $\pm 5$  cm omogućava normalnu drenažu i pravilno iskorišćenje irigacionih potencijala, što znatno povećava produktivnost i iskorišćenost vode za navodnjavanje [2]. Ovako preciznim izvođenjem nivelacije poljoprivrdnog zemljišta takođe se sprečava preterano isušivanje ili zabarivanje što za posledicu može imati sekundarnu salinizaciju zemljišta.

Uobičajena tehnologija ravnjanja poljoprivrednih zemljišta sa osvrtom na irigacione potencijale, posebno površinsku drenažu, ima svoje nedostatke, i to:

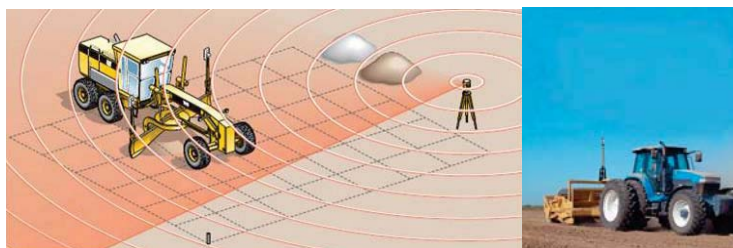
- ◆ nedovoljna preciznost izvođenja operacije ravnjanja (greška u rasponu od 3-5 cm zahteva naknadne korekcije) i
- ◆ zahteva veliki utrošak vremena i energije.

Upotrebom laserskih sistema za kontrolu i upravljanje radom dozera-grejdera, kvalitet i preciznost izvođenja ovih radova se podiže na znatno viši nivo.

Pomenuti laserski sistemi proizvođača LEICA, za razliku od prethodnog sistema na univerzalnom žitnom kombajnu, ne predstavljaju satavni deo radne mašine, već se mogu prenositi sa mašine na mašinu, u zavisnosti od potrebe. Postavljanje ovakvih sistema na radne mašine, tipa dozer-grejder je jednostavno i izvodi se bez predhodnih izmena i priprema na samoj mašini [7].

Sistem se sastoji od laserskog emitera, kontrolne jedinice postavljene u kabini mašine i laserskog prijemnika na samoj mašini (Sl.7.).

Emiter (Sl.8.) inicijalno generše vertikalni laserski zrak koji prilikom prolaska kroz optičku staklenu pentaprizmu skreće pod uglom za 90°. Staklena pentaprizma rotira oko vertikalne ose emitera pri čemu se formira laserski zrak koji se rasprostire kružno oko emitera i ima maksimalni radijus od 300m. Ovaj laserski zrak materijalizuje ravan (Sl.9.) paralelnu ravni koju treba izvesti na terenu. Laserski zrak koji materijalizuje ravan paralelnu ravni koju treba izvesti na terenu još nazivamo i laserskim zrakom reperom. Nagib laserskog zraka repera može se podesiti u opsegu od 0-10°.



Sl.7. Šema rada laserskog sistema za upravljanje  
Fig.7. Work scheme of laser system



Sl.8. Laserski emiter [11]  
Fig.8. Laser emitter [11]



Sl.9. Primeri ravni materijalizovanih laserskim zrakom  
Fig.9. Examples of laser beam plane

Laserski prijemnik (Sl.10.) se nalazi na teleskopskom nosaču, koji je postavljen na radni organ mašine, pri čemu se teleskopski nosač automatski izdiže i spušta kako bi neprekidno bio u zoni dejstva laserskog zraka repera, bez obzira na trenutni položaj mašine. Laserski prijemnik

detektuje laserski zrak reper i u zavisnosti od trenutnog položaja radnog organa mašine, preko kontrolne jedinice postavljene u kabini (Sl.11.), daje uputstva rukovaocu da li treba da podigne ili spusti radni organ kako bi formirao planom predviđenu površinu.

Površina zemljišta na kome je izvršeno ravnanje, nakon izvršenja radova treba da bude paralelna sa materijalizovanom ravni koju je obrazovao laserski zrak reper.

Ovi laserski sistemi mogu biti izvedeni kao kontrolni i kao automatski upravljački sistemi sa elektro hidrauličkom akcijom radnih organa mašine. Ukoliko su kontrolnog tipa, onda se preko kontrolne jedinice postavljene u kabini (Sl.11.), sistem rukovaocu sugerise da li da podigne ili spusti radni organ kako bi ostvario planirano stanje površine.

Ukoliko su automatskog tipa, računarska jedinica direktno upravlja hidrauličnim sistemom za pozicioniranje radnog organa i dovodi ga u odgovarajući položaj. U ovom slučaju uloga rukovaoca mašinom svodi se na praćenje i kontrolu radnih parametara i programiranje samog sistema.

Preciznost ovih laserskih sistema uglavnom zavisi od divergencije (rasipanja) laserskog zraka repera (Tab.1.).

**Tab.1. Divergencija laserskog zraka**  
**Tab.1. Divergence of laser beam**

Distance from the emitter (m) Udaljenost laserskog emitera (m)	25	50	100	150	200	300
Diameter of the fascicle (mm) Prečnik laserskog zraka (mm)	10	12	17	21	25	28

Iz (Tab.1.) se može videti povećanje prečnika laserskog zraka usled divergencije u zavisnosti od rastojanja između emitera i laserskog prijemnika, počevši od 10mm na rastojanju od 25 m, pa do 28mm na rastojanju od 300m [2].

Kao rezultat divergencije, javlja se greška u vidu odstupanja izmerenog nagiba laserskog zraka repera, a samim tim i uređene površine nakon završenog radnog procesa u odnosu na planom predviđeni željeni nagib. Ovo odstupanje je prikazano u (Tab.2.) u zavisnosti od rastojanja između emitera i laserskog prijemnika [2].



Sl.10. Laserski prijemnik [7]  
Fig.10. Laser receiver [7]



Sl.11. Kontrolna jedinica sistema [7]  
Fig.11. Control unit [7]

**Tab.2. Izmereni nagib laserskog zraka repera**  
**Tab.2. Measured slope of the laser benchmark plan**

Preset longitudinal gradient Podužni nagib (%)	Distance from the emitter (m) - Udaljenost laserskog emitera (m)						
	Measured gradient (%) - Izmereni nagib (%)						
	25	50	100	150	200	250	300
0,1	0,1	0,11	0,15	0,15	0,18	0,2	0,2
0,2	0,2	0,22	0,22	0,24	0,28	0,3	0,32
0,6	0,6	0,62	0,65	0,65	0,67	0,7	0,7
1,0	1,1	1,1	1,15	1,18	1,2	1,2	1,2
2,0	2,0	2,15	2,15	-	-	-	-
3,0	3,1	3,1	-	-	-	-	-

Analizom podataka iz tabela (Tab.1. i 2.) može se utvrditi da je greška koja nastaje usled divergencije laserskog zraka veoma mala, te da se radi o veom preciznim sistemima. Ova tvrdnja se može potkrepiti primerima iz prakse, i to [2]:

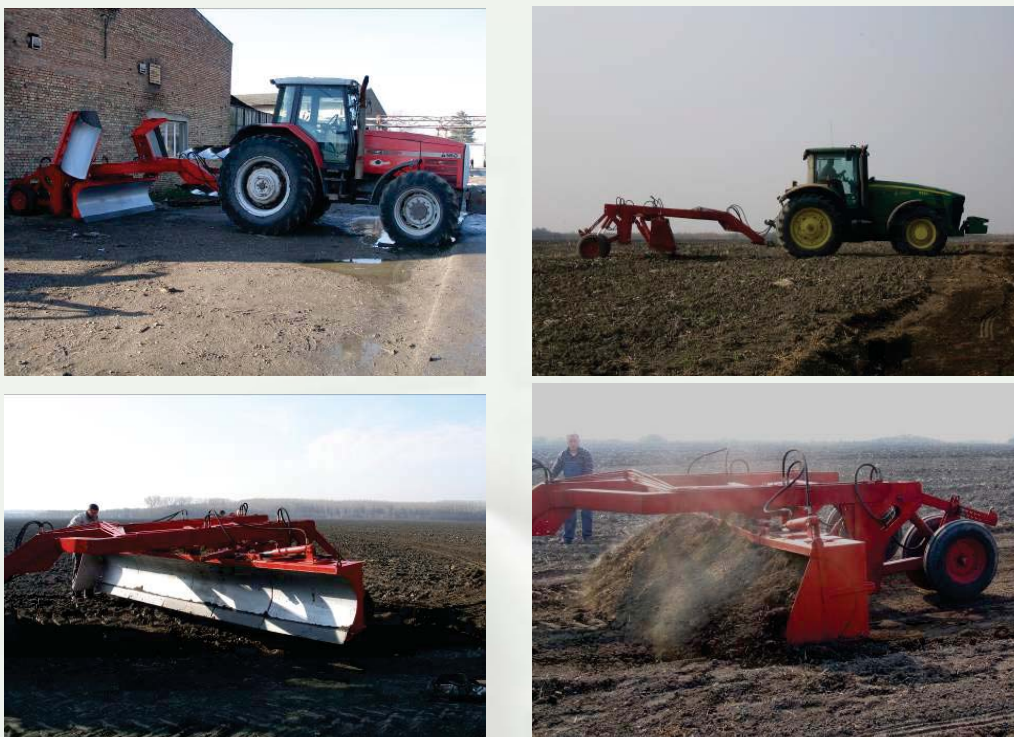
- ◆ Podužni nagib na uređenoj površini uz radijus laserskog zraka repera od 250 m i pokrivenost površine od 19,63 ha, odstupa maksimalno  $\pm 2,5$  cm od nagiba predviđenog planom i
- ◆ Podužni nagib na uređenoj površini uz radijus laserskog zraka repera od 300 m i pokrivenost površine od 28,30 ha, odstupa maksimalno  $\pm 3$  cm od nagiba predviđenog planom.

## **MOGUĆNOST PRIMENE LASERSKOG SISTEMA UPRAVLJANJA LEICA POWERBLADE NA UNIVERZALNOM SKREPERSKOM RAVNJAČU**

Poljoprivredne površine su često neravne što stvara velike probleme pri gajenju poljoprivrednih kultura. Pomoću Univerzalnog skreperskog ravnjača (mašina je nastala kao rezultat istraživanja u okviru projekta: „Razvoj savremenih poljoprivrednih mašina i oruđa za nove tehnologije u biljnoj proizvodnji-TR 6926“ koji je finansiralo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije) (Sl.12.) rešava se tehnički problem uređenja poljoprivrednih zemljišta po površini na parcelama, poravnavanje zemljišnih puteva za kretanje mobilnih agregata i formiranje i uređenje zemljanih traka za kretanje mobilnih sistema za navodnjavanje.

Prednosti ove mašine su sadržane u jednostavnosti rešenja, mogućnosti jednostavne promene ugla postavljanja daske za ravnjanje, jednostavnosti priključka za traktor, jednostavnosti rukovanja i održavanja.

Znatno poboljšanje radnih karakteristika ove mašine postiglo bi se upotrebom laserskog sistema za upravljanje tipa Leica PowerBlade. Na ovaj način bi se znatno povećala preciznost izvršavanja radnih operacija ravnjanja pomenutih poljoprivrednih površina, smanjilo bi se vreme trajanja radnog ciklusa kao i energetske potrebe same mašine.



*Sl.12. Univerzalni skreperski ravnjač u radu*  
*Fig.12. Universal scraper at work*

## ZAKLJUČAK

Laserski sistemi upravljanja na poljoprivrednim mašinama bitno utiču na njihove radne karakteristike, znatno podižući preciznost i brzinu izvođenja radnih operacija. Primena ovih sistema je još usko ograničena specifičnošću radnih procesa kod kojih je najopravdanija svrsishodnost njihove primene, prvenstveno zbog cene sistema zasnovanih na upotrebi tehnologije lasera.

Razvatak i usavršavanje tehnologije proizvodnje komponenata laserskih sistema bi znatno mogao da proširi oblast upotrebe ovakvih sistema i na razne druge radne operacije u poljoprivrednoj proizvodnji. Veliki korak u ovom smeru je učinjen sa pojavom poluprovodničkih lasera 1962. godine [5], [10] i jedne od njihovih varijanti u obliku laserskih dioda, kada su sistemi zasnovani na upotrebi tehnologije lasera postali dostupniji i jeftiniji. Ovo mogu potvrditi i prethodno pomenuti sistemi i njihova sve veća zastupljenost na velikom broju savremenih meliorativnih i poljoprivrednih mašina.

Ovaj rad je rezultat istraživanja koja se sprovode u okviru realizacije projekta „Efekti primene i optimizacije novih tehnologija, oruđa i mašina za uređenje i obradu zemljišta u biljnoj proizvodnji“, evidencionog broja TR 20092, koga finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.



## LITERATURA

- [1.] Oljača M., Gligorević K., Branković M., Dimitrovski Z., Tanevski D.: *Primena elektronskih komponenti na traktorima i radnim mašinama u funkciji povećanja kontrole sigurnosti i eksploatacije*, Poljoprivredna tehnika, N<sup>o</sup>1, p.p. 107-118, Beograd, 2005.
- [2.] Popescu T., Popescu A., Şovăială G.: *Laser Command And Hydraulic Actuation Applied To Navvy Machinery For Grading Agricultural Lands*. The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mecatronics (15), No. 28, Bucharest, 2008.
- [3.] Popović M.: *Senzori i merenja*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Srpsko Sarajevo, 2004.
- [4.] Webster J.: *Instrumentation and Sensors Handbook*, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA, 1998.
- [5.] Chow W. W., Koch S. W., *Semiconductor-Laser Fundamentals*, Springer, Berlin, 1999.
- [6.] [www.claas.com/countries/generator/cl-pw/en/products/combines/lexion-580/lenksysteme/laser\\_pilot.html](http://www.claas.com/countries/generator/cl-pw/en/products/combines/lexion-580/lenksysteme/laser_pilot.html)
- [7.] [www.leica-geosystems.com/en/index.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm)
- [8.] [www.rp-photonics.com/lasers.html](http://www.rp-photonics.com/lasers.html)
- [9.] [www.rp-photonics.com/photodiodes.html](http://www.rp-photonics.com/photodiodes.html)
- [10.] [www.rp-photonics.com/semiconductor\\_lasers.html](http://www.rp-photonics.com/semiconductor_lasers.html)
- [11.] [www.unitedkingdom.cat.com/cda/layout?m=60212&x=7](http://www.unitedkingdom.cat.com/cda/layout?m=60212&x=7)

Rad primljen: 20.10.2009.

Rad prihvaćen: 02.11.2009.