

**Bibliid:** 0350-2953 (2008) 34: 1-2, p. 32-39  
**UDK:** 631.544

Originalni naučni rad  
Original scientific paper

## **KONTROLA MIKROKLIMATSKIH PARAMETARA U OBJEKTIMA ZAŠTIĆENOG PROSTORA**

### **CONTROL OF CLIMATIC CONDITION INSIDE GREENHOUSES**

Đević M, Dimitrijević Aleksandra\*, Blažin, S.\*\*

#### **REZIME**

Praćenje klimatskih parametara u objektima zaštićenog prostora veoma je značajan činilac uspešnosti biljne proizvodnje. Ukoliko se pravilno i dovoljno brzo reaguje na promenu mikroklimatskih parametara, mogu da se ostvare značajne uštede u energiji i ljudskom radu, što rezultira većom energetsom efikasnošću i kvalitetnijem proizvodu koji se iznosi na tržište. Faktori uspešnosti biljne proizvodnje u zaštićenom prostoru su temperatura, svetlost, vlažnost vazduha i zemljišta i sastav i kvalitet vazduha.

U radu je data analiza klimatskih uslova u objektima zaštićenog prostora i mogućnost za njihovo praćenje i kontrolu. Analiziran je raspored temperatura u objektima i to po dužini, širini i visini objekta. Temperature su praćene u objektu tunel tipa, pokrivenom dvostrukom folijom, u vreme proizvodnje paradajza. Dobijene vrednosti temperature i relativne vlažnosti vazduha, koje pokazuje određena variranja mogu da posluže za kasnije projektovanje tehničkih sistema zagrevanja i njegovog postavljanja.

**Ključne reči:** zaštićen prostor, temperatura, relativna vlažnost vazduha, ugljen-dioksid, tehnički sistemi, kontrola

#### **SUMMARY**

Climatic conditions in greenhouses are very important concerning plant growth and development. If adequate and accurate control is applied energy and labor saving can be obtained followed by good quality products and higher yields. Successful greenhouse production is defined by four main factors – temperature, light, water content of the air and soil, and quality of air inside the objects.

In this paper climatic conditions in greenhouses are analysed and possibilities of their good control are given. Vertical and horizontal temperature distribution are shown for double plastic covered tunnel during tomato production. Values obtained show that temperature and air relative humidity variation in greenhouse, can be used for heating

---

\* Dr Milan Đević, redovni profesor, mr Aleksandra Dimitrijević, asistent, Poljoprivredni fakultet Beograd.

\*\* Slobodan Blažin, dipl. ing. Srednja poljoprivredna škola "Josif Pančić", Pančevo.

system projection and installation. Influence of air quality on time of picking and production quality is also shown.

**Key words:** greenhouse, temperature, relative humidity, CO<sub>2</sub>, technical systems, control

## UVOD

Da bi se pratili klimatski parametri u objektu i pravilno i brzo reagovalo na promene, mora sa jedne strane da se poznaje fiziologija date biljne vrste i tehnologija proizvodnje, a sa druge strane karakteristike proizvodnog objekta (dimenzije, karakteristike pokrivnog materijala, orijentacija) i klimatski uslovi regiona.

Svrha kontrole klimatskih faktora je otpimalizacija biljne proizvodnje u objektima zaštićenog prostora. Iz tog razloga je neophodno poznavati kakav uticaj okolina ima na rast i razviće biljaka. Proizvođači se opredeljuju za različite biljne vrste od kojih su najzastupljenije proizvodnja povrća i cveća, a sada sve češće i voća.

Praćenje i kontrola najznačajnijih parametara i procesa u objektima, mogu da se obave prilično jednostavnim ali ne dovoljno preciznim uređajima, ali i vrlo sofisticiranim tehničkim i softverskim sistemima. Praćenje procesa kod samih biljaka, transpiracije i fotosinteze, takođe je moguće, zahvajući tehničkom sistemu fitomonitoringa. Sve to je u službi tehnološko-tehničkog sistema proizvodnje u "potpuno kontrolisanim uslovima".

## MATERIJAL I METODE RADA

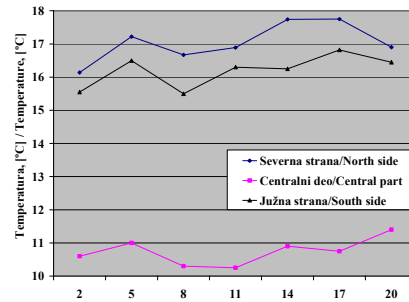
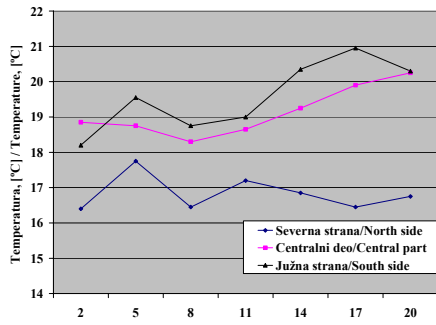
U radu su dati rezultati praćenja klimatskih parametara u objektu tunel tipa pokrivenom dvostrukom folijom istok-zapad orijentacije u vreme proizvodnje paradajza. Dimenzije objekta su 5 x 20 m, a visina 2,75 m. Unutrašnja folija je S2BC, debljine 80 µm, a spoljašnja S3N UV AD debljine 180 µm. Klimatski parametri su praćeni tokom proizvodnje paradajza u proleće 2004. godine, od sadnje na stalno mesto do ubiranja. Temperatura je merena digitalnim termometrima po dužini objekta na svaka 3 m, po visini objekta na 50 cm i 130 cm i po širini objekta na 2,5 m i 80 cm od bočnih strana. Relativna vlažnost je merena po visini objekta na svakih 25 cm, do visine od 150 cm. Merenja su obavljena tri puta u toku dana i to u 7, 12 i 18 h.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

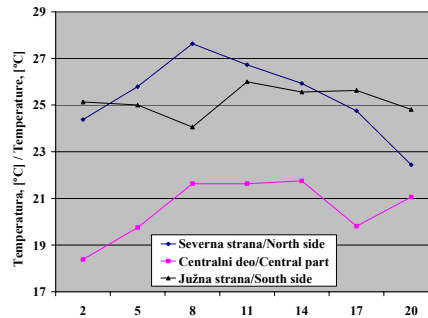
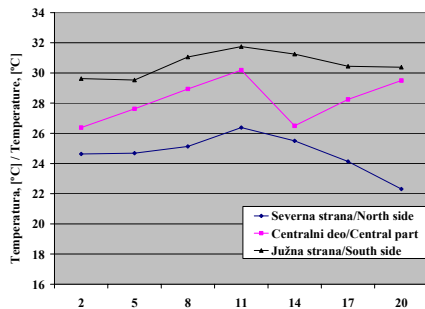
### Temperatura u objektu

Temperatura u objektima zaštićenog prostora pokazuje značajna variranja. Kada je reč o objektu tunel tipa razlike u temperaturi mogu da se zapaze za različite strane, tj. zidove objekta. Temperatura dužinom objekta menja vrednosti sa tendencijom povećanja na sredini objekta i opadanja na krajevima. Porastom visine objekta temperature na bočnim stranama su znatno više nego na sredini objekta. Takva tendencija se javlja za vreme sva tri merenja u toku dana.

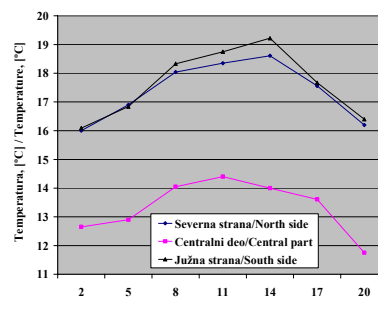
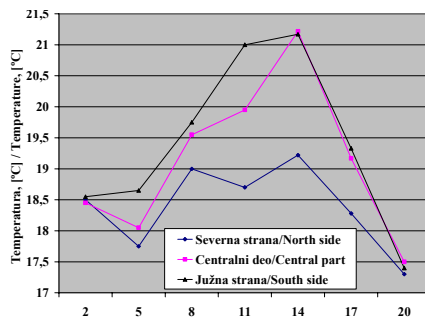
Merenja ukazuju na razlike u temperaturi na severnoj i južnoj strani objekta. Na manjoj visini razlika u temperaturi je značajnija i iznosi i do 7° C tokom pojedinih merenja. Na većoj visini te razlike su manje. Viša temperatura na bočnim stranama u središnjem delu dana može da se objasni blizinom pokrivnog materijala na mernom mestu, te i bržem zagrevanju vazduha na tim mestima (sl. 2).



Sl. 1 Raspored temperatura po dužini i širini objekta na visini od 50 i 130 cm u 7 h  
 Fig. 1 Side and alongside temperat. distribution in greenhouse at 50 and 130 cm at 7 h



Sl. 2 Raspored temperatura po dužini i širini objekta na visini od 50 i 130 cm u 12 h  
 Fig. 2 Side and alongside temperature distribution in greenhouse at 50 and 130 cm at 12 h



Sl. 3 Raspored temperatura po dužini i širini objekta na visini od 50 i 130 cm u 18 h  
 Fig. 3 Side and alongside temperature distribution in greenhouse at 50 and 130 cm at 18 h

U višim delovima objekta na južnoj i severnoj strani uočene su manje razlike u temperaturi ako se uporede sa temperaturom u središnjem delu objekta i pokazuju više vrednosti od vrednosti dobijenih u centralnom delu objekta. U nižim delovima objekta temperatura u severnom delu objekta je niža u poređenju s ostalim mernim mestima, dok je u južnom najviša.

U većini merenja zapažena je tendencija porasta temperature od ulaza u objekat ka sredini i tendencija ponovnog pada ka kraju objekta.

Temperatura u objektima reguliše se primenom tehničkih sistema grejanja, hlađenja, ventilacije ili zasenjivanja.

Tab. 1 Specifična potrošnja energije pojedinih sistema za zagrevanje

Tab. 1 Specific energy consumption for different heating systems

Sistem za zagrevanje Heating system	Specifična potrošnja energije, W/(m <sup>2</sup> K) Specific energy consumption	Relativna specifična potrošnja, % Relative specific consumption
Centralni sistem, cevi neposredno ispod krova Pipe heating in the height to eaves	8,2	100
Centralni sistem, cevi ispod stolova Pipe heating below benches	7,4	90
Centralni sistem, cevi pored zida Side wall heating	8,1	99
Centralni sistem, cevi iznad zemljišta Low pipe heating	6,7	82
Topao vazduh, manja brzina strujanja Air heating, low fan speed	9,9	121
topao vazduh, srednja brzina Air heating, medium fan	7,1	87
Topao vazduh, velika brzina strujanja Air heating, high fan speed	8,0	97
Konvektori Konvector	7,8	95
Topao vazduh, PE cev Air heater with plastic tube	7,0	85

Sistemi za zagrevanje podrazumevaju primenu zagrejanog vazduha, tople vode i infracrvenog zračenja. Istraživanja pokazuju da su s aspekta potrošnje energije najrentabilniji centralni sistemi zagrevanja toplom vodom, gde su cevi postavljene neposredno iznad zemljišta. Utvrđeni raspored temperatura ide u prilog ovoj činjenici.

Za zagrevanje objekata uz istovremeno smanjenje utroška energije, mogu da se koriste termalni zastori čijom primenom se ostvaruju sezonske uštede energije od 25–30%. Problem

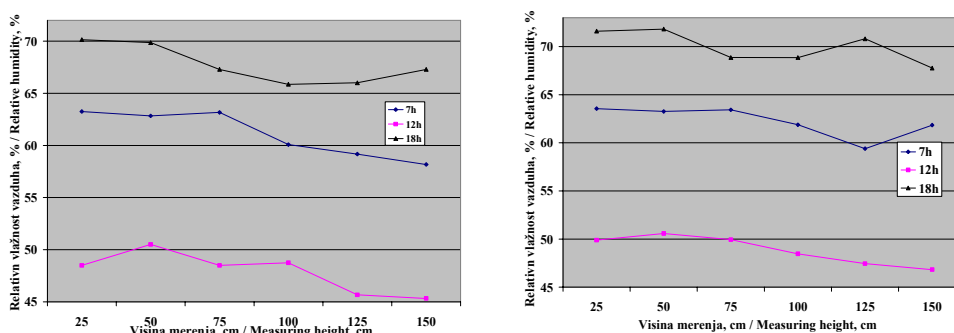
kod termalnih zastora može da predstavlja kondenzacija na unutrašnjoj površini, ali to može da se reši izborom poroznog materijala. Drugi problem je razlika u temperaturi vazduha i temperaturi unutar useva kada se termalni zastori otvore. Za naše klimatske uslove, upotreba dvostruke PE folije kod objekata tunel tipa omogućava početak prolećne proizvodnje paradajza polovinom januara meseca.

Temperatura zemljišta u objektu može da se reguliše zasenjivanjem objekata, centralnim sistemom zagrevanja sa cevima postavljenim u zemljištu i sistemima za navodnjavanje.

Za praćenje i kontrolu temperature u objektima mogu da se koriste statičke i dinamičke strategije. Statička strategija najčešće podrazumeva zadavanje kontrolnih tačaka na osnovu kojih se pokreće sistem za zagrevanje/hlađenje. Međutim, pošto temperatura u objektima ne zavisi samo od spoljašnje temperature, u kontroli se koriste dinamičke strategije koje se baziraju na promeni intenziteta sunčevog zračenja, osvetljenja i temperature.

### Vlažnost vazduha

Merenja ukazuju na variranje relativne vlažnosti vazduha tokom dana. Dobijene vrednosti pokazuju značajne razlike u vrednosti dobijenoj u podnevnim časovima i onoj izmerenoj u jutarnjim i večernjim satima. Po visini objekta relativna vlažnost osciluje u granicama do  $\pm 5\%$ .



Sl. 4 Relativna vlažnost vazduha u objektu

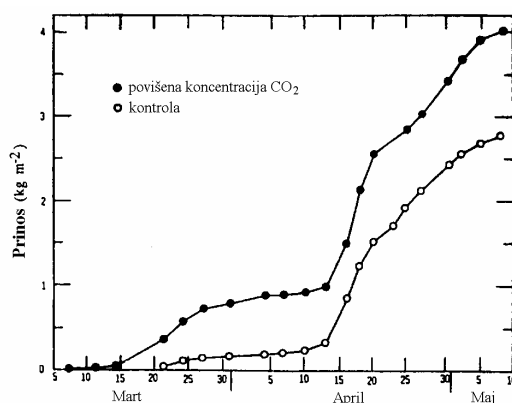
Fig. 4 Relative humidity in the greenhouse

Kontrola relativne vlažnosti u objektima moguća je primenom sistema ventilacije, zagrevanja, hlađenja, mikroorošavanja i magljenja. Za objekte tunel tipa u našem regionu, prirodna ventilacija daje zadovoljavajuće rezultate u kontroli relativne vlažnosti. Opšta preporuka za kvalitetnu prirodnu ventilaciju, jeste da su otvori na krovu i bočnim stranama 16-25% od površine poda. Za blok objekte je neophodno, prilikom izrade projektne dokumentacije, uzeti u obzir i tehničke sisteme prinudne ventilacije. Prinudna ventilacija podrazumeva korišćenje sistema ventilatora. Razmak između ventilatora zavisi od veličine prostora i može da bude i do 15 m. Preporuka za blok objekte je da protok vazduha bude 0,02 – 0,03 m<sup>3</sup>/s m<sup>2</sup>. Ako je reč o smanjenoj vlažnosti u objektu onda je njena regulacija moguća primenom sistema mikronavodnjavanja orošavanjem koji podrazumeva primenu prskača ili mikroorošivača. Spektar kapi koji se pri tom dobije je 100–150  $\mu\text{m}$  ili 5–10  $\mu\text{m}$ .

## Sastav i kvalitet vazduha

U vezi sa sastavom vazduha najznačajniji elementi za biljke su kiseonik i ugljendioksid. Sadržaj ugljen-dioksida u vazduhu je oko 0,03%. Optimalni sadržaj CO<sub>2</sub> je različit za različite kulture i kreće se u granicama 0,025% do 0,7 (0,9)%. Istraživanja pokazuju da koncentracija CO<sub>2</sub> varira tokom dana i da je različita za različite delove objekta. Razlog za to je prolaz male, ali ipak dovoljne količine spoljašnjeg vazduha, kroz sastavna mesta na pokrivnom materijalu, koji unosi CO<sub>2</sub> dovoljno za potrebe biljaka u ovom delu objekta. Kada je reč o dnevnom variranju, najviša koncentracija CO<sub>2</sub> je u ranim jutarnjim satima i počinje da opada u funkciji od ventilacije i fotosinteze, da bi bila najniža u podne.

Količina CO<sub>2</sub>, koja je potrebna biljci, varira od biljke do biljke, ali istraživanja pokazuju da će većina biljaka prestati da rastu ako se koncentracija CO<sub>2</sub> spusti ispod 0,015%. Već se na 0,022% primećuje usporen rast biljke. Istraživanja sprovedena tokom proizvodnje karanfila ukazuju na to da povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> dovodi do povećanja sadržaja suve materije, ali i do povećanja prinosa, i do 30% u smislu broja i kvaliteta cvetova. U datom vremenu, pri koncentraciji CO<sub>2</sub> od 0,055% primećeno je, čak dve nedelje ranije cvetanje. Na slici 5, dat je uticaj povećanja koncentracije CO<sub>2</sub> na prinos krastavca.



Sl. 5 Efekat povećanja koncentracije CO<sub>2</sub> na prinos krastavca  
Fig. 5 Influence of CO<sub>2</sub> enrichment on cucumber yield

Slična istraživanja sprovedana su za ruže, gde je ostvareno povećanje prinosa od 39,7%. Povećana koncentracija u usevu paradajza dovela je do povećanja prinosa od 29% uz ostvarenu bolju čvrstoću i ravnomernije zrenje.

Moguće je, u zaštićenom prostoru, koncentraciju CO<sub>2</sub> povećati primenom adekvatnih uređaja. Ovo se veoma često koristi kod gajenja krastavca, dinje i drugih vrsta iz familije *Cucurbitaceae*. Moguće je ili korišćenje čistog CO<sub>2</sub> ili sagorevanje goriva (butana/propana). Ovim sistemima koncentracija CO<sub>2</sub> može da se poveća 10–20 puta, a mogu da se koriste i automatski sistemi za kontrolu. Višak CO<sub>2</sub> u objektu može da se reguliše sistemima ventilacije. Jedan od načina povećanja koncentracije CO<sub>2</sub> je i kombinacija dodatnog zagrevanja i prirodne ventilacije preko potpuno otvorenih ventilacionih otvora. Na taj način povećavaju se troškovi za zagrevanje objekta, ali se ostvaruje i veći profit koji može da nadomesti zimske i prolećne troškove.

## Svetlosni uslovi

Biljke najbolje iskorišćavaju svetlost talasnih dužina vidljivog dela spektra, 400-750 nm, pomoću koje obavljaju fotosintezu. Kratki infracrveni zraci, 700-2500 nm, imaju toplotni efekat, te ih treba što više iskoristiti. Ultravioletni zraci, talasnih dužina 200-315 nm, negativno utiču na gajene biljke.

Kontrola svetlosnih uslova u objektima moguća je tehničkim sistemima za dodatno osvetljenje (lampe različitog spektra svetlosti) i sistemima zasenjivanja. Natrijumske lampe, slika 6, obično se koriste za dodatno osvetljenje objekta. Korišćenje usijanih lampi nije preporučljivo, jer crveno svetlo koje se emituje sa ovih lampi uzrokuje da se biljke izdužuju. Fluorescentne lampe koriste se u prostorijama za uzgoj. Ove lampe su bogate plavim svetlom, koje utiče da biljke, proizvedene iz semena, budu veoma niske.



*Sl. 6 Natrijumske i fluorescentne lampe*

*Fig. 6 Natrijum and fluorescent lamps*

Jačina svetla uglavnom zavisi od zahteva useva i ekonomskog efekta primene. Jačina svetlosti trebalo bi da bude održavana na oko  $150-250 \mu\text{m}^2\text{s}$  fotosintetički aktivnog zračenja (FAR). Proizvodnja svetlosti hladnih belih fluorescentnih (CWF) lampi smanjuje se tokom vremena. Zato je važno meriti emitovanje svetlosti redovno. Ako intenzitet svetlosti padne ispod prihvatljivog nivoa (npr.  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) trebalo bi instalirati nove lampe. Kvantum senzor može da se koristi za merenje količine fotosintetički aktivnog zračenja. Zamenom samo dela ukupnog broja lampi u isto vreme znači da neke lampe rade svojim maksimumom, dok su neke manje efikasne, a fluktuacija u ukupnoj proizvodnji svetlosti je izraženija.

Tehnički sistemi kontrole mogu biti projektovani da reaguju na vreme, zatim na količinu svetlosti u objektu ili na temperaturu u objektu.

## ZAKLJUČAK

Biljna proizvodnja u zaštićenom prostoru predstavlja najintenzivniji oblik proizvodnje u poljoprivredi. Rast biljaka je intenzivan tokom cele godine kako bi se ostvarili visok prinos i dobar kvalitet proizvoda. Utrošak energije u ovoj tehnologiji gajenja je izuzetno visok te se greške tokom samog procesa proizvodnje ne smeju dozvoliti. Greške mogu da se svedu na najmanju moguću vrednost primenom preciznih sistema kontrole procesa i klime unutar objekata, pa je praćenje i poznavanje mikroklimatskih uslova u objektu od velikog značaja. Temperatura vazduha i zemljišta, vlažnost vazduha i zemljišta, osvetljenje i sastav i kvalitet vazduha su, osim tehnologije gajenja, osnovni faktori uspešnosti biljne proizvodnje. Temperatura pokazuje variranja kako dužinom, tako i visinom objekta koja mogu biti značajna.

Orijentacija objekta, takođe, utiče na raspored temperatura. Više temperature javljaju se u jutarnjim satima na južnoj strani a niže u popodnevnom. Za adekvatnu kontrolu proručuje se dinamička strategija, s obzirom na kompleksnost odnosa temperature i ostalih klimatskih i proizvodnih parametara u objektu.

Relativna vlažnost vazduha pokazuje značajna variranja tokom dana u smislu manjih vrednosti tokom podnevnih časova i viših jutarnjih i večernjih. Sistem prirodne ventilacije preko otvora na čeonim i bočnim stranama zadovoljava potrebe regulacije relativne vlažnosti kod objekata tunel tipa.

Efekat povećanja koncentracije CO<sub>2</sub> na rast i razviće biljaka je očigledan. Savremeni tehnički sistemi za povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> podležu visokom nivou kontrole i automatizacije, a njihovom primenom moguće je povećati koncentraciju i do 20 puta.

Sistemi dopunskog osvetljenja mogu biti od izuzetnog značaja u ranoj proizvodnji rasada, gde mogu da posluže za regulaciju količine svetlosti, ali i kao sistemi za dodatno zagrevanje.

Rezultati istraživanja ukazuju na kompleksnost i uzajamnu povezanost i uslovljenost mikroklimatskih uslova i procesa u objektima zaštićenog prostora. To je razlog zašto se sve veća pažnja posvećuje modeliranju i optimalizaciji proizvodnje, kao i tehnološko-tehničkim sistemima kontrole u objektima zaštićenog prostora.

## LITERATURA

1. Tantau H.-J. 1999. *Specific Equipment Used for Cultivation Inside Greenhouses*, Plant Production Engineering, CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume III.
2. Hashimoto Y, Nishina H. 1999. *Greenhouse*, Energy and Biomass Engineering, CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume V.
3. Bot G. P. A. 1993. *Physical modelling of greenhouse climate*, The Computerized Greenhouse, eds. Hashimoto, Y., G. P. A. Bot, W. Day, H.-J. Tantau, and H. Nonami, pp. 51–73. New York: Academic.
4. Tantau H.-J. 1993. *Optimal control for plant production in greenhouses*, The Computerized Greenhouse, eds. Hashimoto, Y., G. P. A. Bot, W. Day, H.-J. Tantau, and H. Nonami, pp. 139–152. New York: Academic.
5. Albright L. D. 1991. *Production solar greenhouses*. Solar Energy in Agriculture, ed. Parker, B. F, pp. 213–231. Amsterdam: Elsevier.
6. Haruhiko Murase 2002. *Precision Technologies for Protected Agriculture*, CIGR XVth World Congress, Chicago, USA.
7. Hanan J. Joe, 1998. *Greenhouses. Advanced Technology for Protected Cultivation*, CRC Press.
8. Nelson V. P. 2003. *Greenhouse Operation and Management*, Sixth edition, Prentice Hall

Primljeno: 05.01.2008.

Prihvaćeno: 08.01.2008.