

PRIMJENA HISTOGRAMA DRUGOGA REDA U PROCJENI RELATIVNOG SASTOJINSKOG OBRASTA

USING SECOND ORDER HISTOGRAMS TO ESTIMATE RELATIVE STAND DENSITY

Damir KLOBUČAR*

SAŽETAK: Rad predstavlja nastavak dosadašnjih istraživanja primjene digitalne obrade sastojinske scene i cikličkih snimaka za potrebe uređivanja šuma.

Naime, istražena je dodatna mogućnost primjene cikličkih snimaka, izradom histograma drugoga reda i utvrđivanja njihove povezanosti s tri kategorije relativnog obrasta na primjeru gospodarske jedinice "Jamaričko brdo", šumarije Lipovljani. Digitalni ortofoto izrađen je korištenjem crno-bijelih aerofotosnimaka, približnog mjerila 1:20 000 (Klobučar, 2003).

Provedenim istraživanjem utvrđena je još jedna mogućnost primjene digitalne analize slike u procjeni obrasta i stanja sastojina. Histogrami drugoga reda mogu se primijeniti u procjeni relativnog sastojinskog obrasta, te su izrađena tri osnovna oblika histograma, koji se mogu pridružiti odgovarajućim kategorijama obrasta.

Postupci digitalne analize slike još su uvijek nesavršeni, i ne mogu u potpunosti zamijeniti klasične postupke. Stoga se integracija digitalnih i vizualnih metoda u donošenju odluka (u cilju potrajnog gospodarenja šumama), smatra svrsishodnim postupkom.

Ključne riječi: cikličke snimke, obrast, histogrami prvoga i drugoga reda, digitalni ortofoto, tekstura.

1. UVOD – Introduction

Uporaba daljinskih istraživanja u regionalnom i globalnom smislu je neophodna. Tematske karte dobivene daljinskim istraživanjima neprocjenjivi su izvor informacija za istraživače, jer donose prostorne i vremenske informacije o objektima na Zemljinoj površini (Cetin et al. 2005).

Do danas su se razvile mnoge metode procjene sastojinskih veličina pomoću aerosnimaka, koje daju zadovoljavajuće rezultate i primjenjuju se uobičajeno u mnogim zemljama sa razvijenim šumarstvom (Kušan, 1992; Kušan & Krejči, 1993, Kušan & Pernar, 1996). Za praćenje stanja šuma i određivanje sastojinskih parametara od šezdesetih godina prošloga stoljeća koriste se i satelitske snimke (Howard,

1991; Kušan, 1996; Posarić, 1996; Franco – Lopez et al. 2001; Kušan & Pernar, 2001; Pax – Lenny, 2001; Hagner, 2002; Linderman et al. 2004; Joshi et al. 2006; Kuplich, 2006).

Prilikom kvantitativnog opisivanja sastojina najčešće korištena veličina je obrast.

Obrast sastojine može se iskazati brojem stabala, temeljnicom i volumenom neke sastojine u apsolutnim i relativnim jedinicama. Broj stabala je apsolutna mjera obrasta sastojine izražena u broju stabala po hektaru. Relativan obrast predstavlja odnos apsolutnih veličina neke sastojine (broj stabala, temeljnica, volumen) sa standardnim (normalnim, idealnim) veličinama (Pranjić & Lukić, 1997).

Obrast je jedan od najznačajnijih i najkorisnijih sastojinskih parametara, koji šumarskom stručnjaku ukazuje na opće stanje sastojine, a obrast po vrstama

* Mr. sc. Damir Klobučar, dipl. ing. šum., UŠP Zagreb,
V. Nazora 7, 10 000 Zagreb, e-mail: damir.klobucar@hrsume.hr

drveća ukazuje na dosadašnje gospodarenje, ali i na buduće propisivanje i provođenje smjernica gospodarenja (Pernar & Klobučar, 2003).

Obrast je dobar pokazatelj postojećeg stanja prema normalnom stanju, kako na razini sastojine, tako na razini dobnog razreda, s tim da je pritom važna primjena odgovarajućih normalnih modela (Čavlović et al. 2006).

Prema Pravilniku o uređivanju šuma (2006) obrast sastojina definira se odnosom stvarne i normalne temeljnice u jednodobnim sastojinama, dok je u prebornim i raznodobnim sastojinama odnos stvarne i normalne drvene zalihe. Normalna temeljnica, odnosno drvena zaliha, određuje se primjenom prirasno-prihodnih tablica domaćih autora. Obrast se prema ovom Pravilniku iskazuje kao: normalni obrast – iznad 0.80; manji od normalnog – od 0.50 do 0.80; slab – do 0.50.

Quackenbush et al. (2000) i Verbeke et al. (2006), poistovjećuju sastojinski obrast s brojem stabala iskazanim po jedinici površine, te ukazuju da je izuzetno važan parametar u gospodarenju šumama. Zajedno s drugim strukturnim parametrima, koristi se u procjeni obnove, u ocjeni uspješnosti provođenja gospodarskih mjera ili služi kao indikator (varijabla) za ocjenu drugih sastojinskih parametara: starosti, temeljnice i volumena.

Čavlović et al. (2006) koriste obrast prema broju stabala glavne (glavnih) vrste drveća kao značajan kri-

terij za ocjenu stanja sastojina i kriterija za donošenje odluka gospodarenja u lužnjakovim šumama.

Primjenom tehnike digitalne obrade sastojinskih scena u posljednjih desetak godina, došlo je do razvoja novih metoda u procjene sastojinskog obrasta (Bolduc et al. 1999; Wulder et al. 2000; St-Onge & Cavayas, 1997; Franco - Lopez et al. 2001; Hölmstrom, 2002; Pernar & Klobučar, 2003; Verbeke et al. 2006).

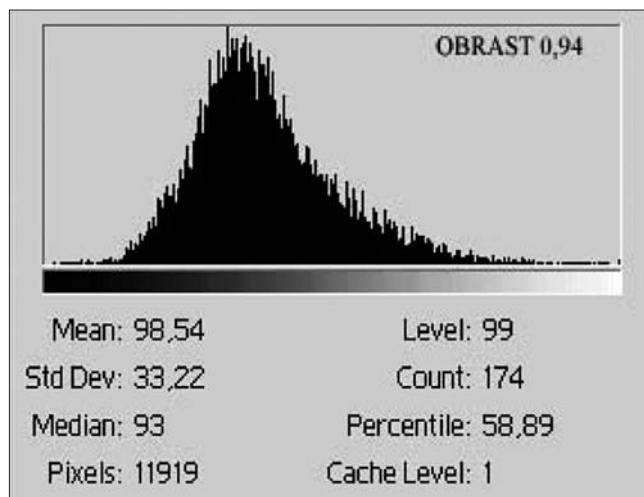
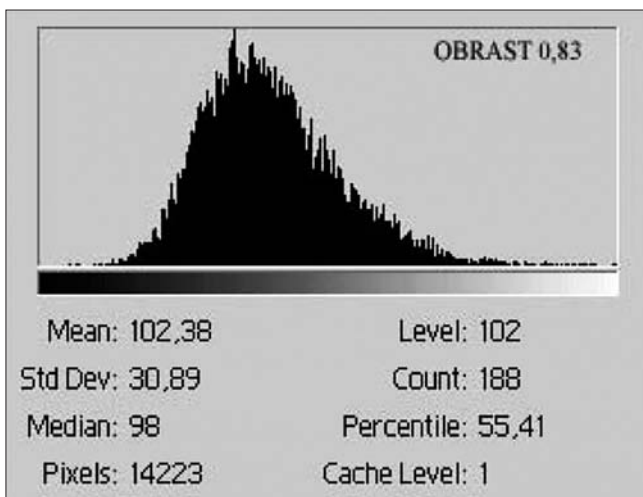
Pernar & Klobučar (2003) istražuju mogućnosti primjene histograma sastojinske scene i vizualne interpretacije digitalnog ortofota u procjeni relativnog obrasta i stanja sastojine. U tu svrhu korištene su crno-bijele aerofotosnimke približnog mjerila 1:20000, sa 60 % prijeklopom, pridobivene tijekom cikličkog snimanja Republike Hrvatske. Provedenim istraživanjem utvrđeno je da postoje tri oblika histograma prvoga reda koji se mogu pridružiti odgovarajućim kategorijama obrasta, te da isti svrsishodno mogu poslužiti u procjeni obrasta i stanja sastojina.

Prema literaturi o istraživanoj tematici, dosadašnja istraživanja uglavnom su imala za cilj analizu histograma s ciljem automatskog prepoznavanja krošanja na snimkama u doba vegetacije. Istraživanje histograma, osobito na snimkama u doba mirovanja vegetacije tj. bez lista, razmjerno je nov pristup.

1. 1. HISTOGRAMI PRVOGA REDA – First order histograms

Histogram grafički prikazuje zastupljenost pojedinih numeričkih vrijednosti u pikselima digitalne slike. Na vodoravnoj osi histograma nalaze se iznosi zacrnjenja u rasponu od 0 do 225, a na okomitoj osi je ukupni broj piksela s tim zacrnjenjem.

Histogrami sastojina normalnog obrasta su jednostavni, jednoličnog izgleda, s jednim maksimumom, kod kojih najveći broj piksela pripada lijevom dijelu histograma, bliže sredini apscise (Slika 1).



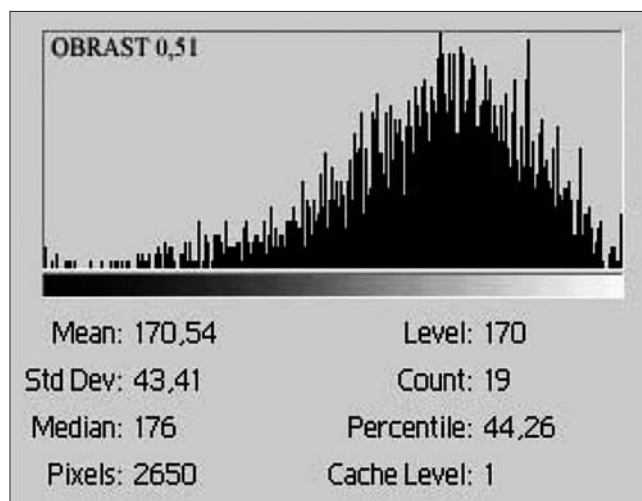
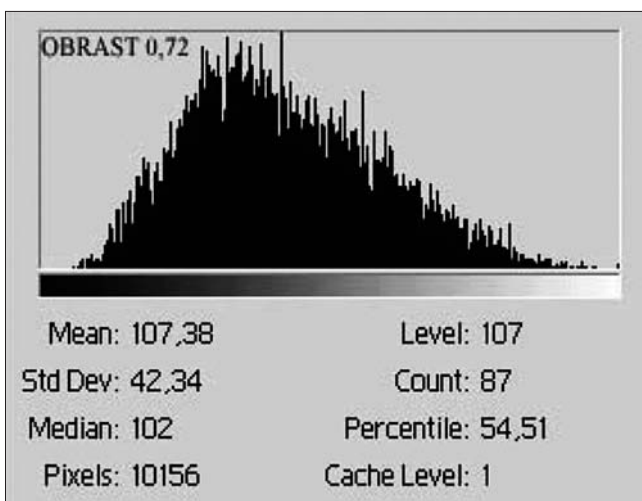
Slika 1. Histogrami sastojina normalnog obrasta
Figure 1 Histograms of normal stand density

Histogrami sastojina, čiji su obrasti manji od normalnog, po izgledu su dvojaki. Sastojine kod kojih je

obrast tek neznatno manji od normalnog, imaju histograme slične sastojinama normalnog obrasta, ali s ve-

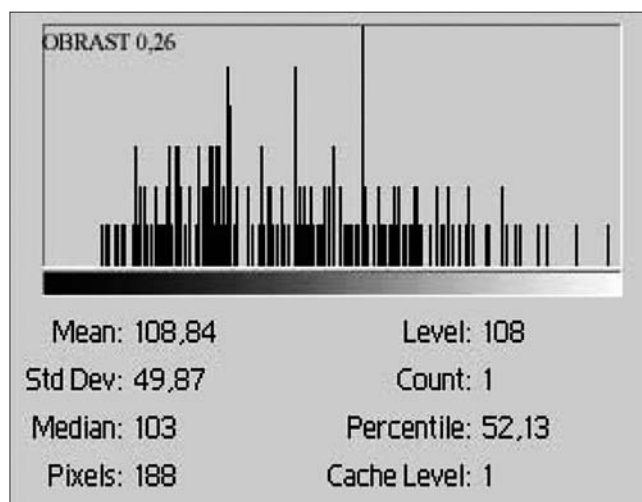
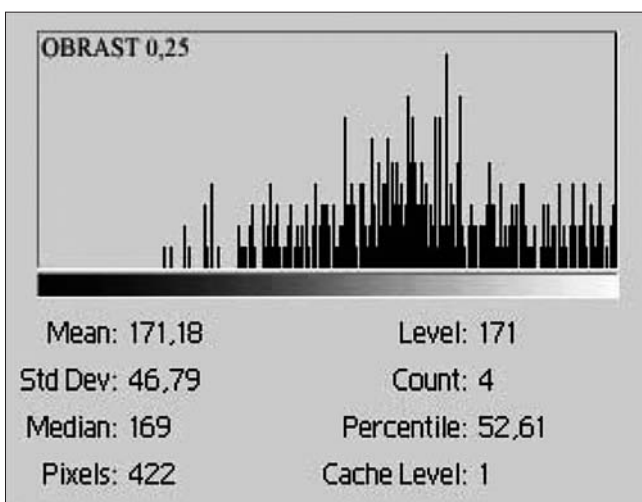
ćim brojem piksela u desnom dijelu histograma (Slika 2a). Sastojine kod kojih je obrast značajnije smanjen,

ali ne u tolikoj mjeri da bi bio slab, imaju histograme nepotpunog češljastog oblika (Slika 2b).



Slika 2a, b. Histogrami sastojina smanjenog obrasta
Figure 2a, b. Histograms of decreased stand density

Histogrami sastojina slabog obrasta imaju duži ili kraći češljasti, lako prepoznatljiv oblik (Slika 3).



Slika 3. Histogrami sastojina slabog obrasta
Figure 3 Histograms of stands with poor density

1. 2. HISTOGRAMI DRUGOGA REDA – Second order histograms

Mjere teksture izračunate samo na podacima iz histograma prvog reda imaju nedostatak, jer ne daju informacije s obzirom na relativni odnos između samih piksela.

Može se pretpostaviti da su vrijednosti intenziteta za svaku točku ishod nekog slučajnog eksperimenta. Uz takvu pretpostavku histogrami prvoga reda predstavljaju procjenu funkcije gustoće vjerojatnosti. Umjesto samo jedne točke može se na sličan način promatrati bilo koji par točaka slike, čija je međusobna pozicija određena nekom relacijom. U tom slučaju pretpostavljeni slučajni eksperiment postaje dvodimenzionalan, a procjenu odnosno estimaciju funkcije gustoće vjerojatnosti dobivamo iz histograma drugog reda (L o n č a r i ć, 2003).

Gustoća vjerojatnosti definirana je izrazom:

$$P_{u_1, u_2}(x_1, x_2) = P[u_1 = x_1, u_2 = x_2] \cong N(x_1, x_2) / N,$$

gdje je $0 \leq x_1, x_2 \leq L-1$, $N(x_1, x_2)$ broj parova točaka u slici s vrijednostima x_1, x_2 , a N je ukupan broj točaka u slici. Kvocjent $P(x_1, x_2) = N(x_1, x_2) / N$ predstavlja ocjenu funkcije gustoće vrijednosti i zove se histogram drugog reda.

Mjerenjem razmazanosti (širine) histograma oko glavne dijagonale može se opisati tekstura. Dobivanje ovakvog tipa teksturalnih podataka ne odnosi se samo na distribuciju intenziteta (sive skale), nego i na poziciju piksela s istim ili sličnim vrijednostima.

Coburn & Roberts (2004) navode da istraživači u području daljinskih istraživanja u analizi teksture i klasifikaciji najčešće koriste podatke dobivene pomoću histograma drugoga reda, dok je slabija primjena histograma prvoga reda.

Histograme drugoga reda (*co – occurrence matrix*) u ekstrakciji značajki teksture predložio je Haralick et al. (1973).

Berberoglu & Curran (2006), Kayitakire et al. (2006) navode da se od 14 definiranih teksturalnih značajki drugog reda (Haralick et al. 1973), sa-

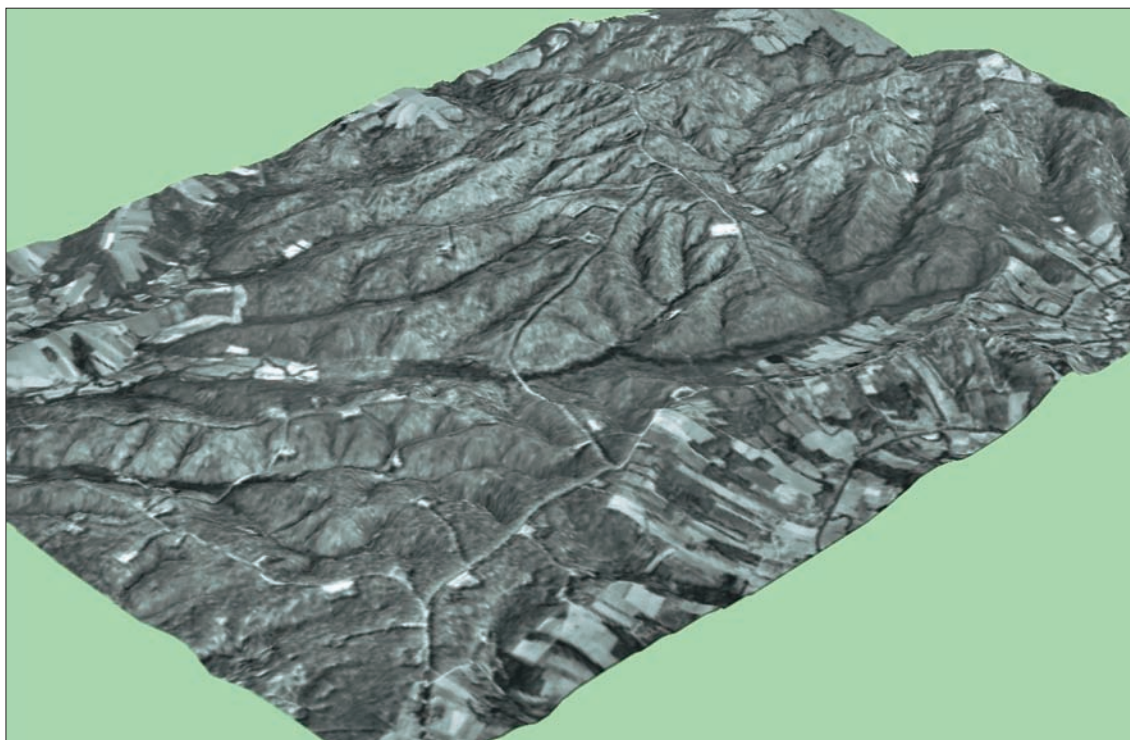
mo njih šest (energija, kontrast, varijanca, homogenost, korelacija i entropija) učestalije koristi u daljinskim istraživanjima.

Kayitakire et al. (2006) navode da su se značajke dobivene posredstvom histograma drugoga reda često koristile u klasifikaciji ili segmentaciji tekstura (Hay et al. 1996; Franklin et al. 2000, 2001; Coburn & Roberts, 2004), ali su se vrlo rijetko koristile u estimaciji sastojinskih parametara (Kayitakire et al. 2006).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA – Research aim

Budući da su cikličke snimke izuzetno pristupačne, te da je do sada istraživana svrsishodnost njihove primjene u šumarstvu (Klobučar, 2003; Pernar & Klobučar, 2003; Pernar et al. 2003; Klobučar, 2004; Klobučar & Pernar, 2005), odlučeno je dodatno istražiti mogućnost njihove primjene u uređiva-

nju šuma, izradom histograma drugoga reda i utvrđivanja njihove povezanosti s tri kategorije relativnog obrasta na primjeru gospodarske jedinice “Jamaričko brdo”. Digitalni ortofoto (Slika 4) izrađen je korištenjem crno-bijelih aerofotosnimaka, približnog mjerila 1:20 000 (Klobučar, 2003).



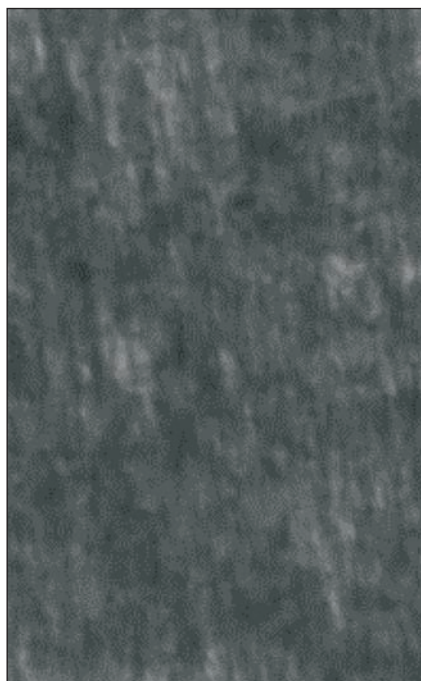
Slika 4. Perspektivni prikaz digitalnog ortofota prevučena preko digitalnog modela reljefa
Figure 4 View of digital orthophotographies pulled over DTM

3. METODA RADA – Work method

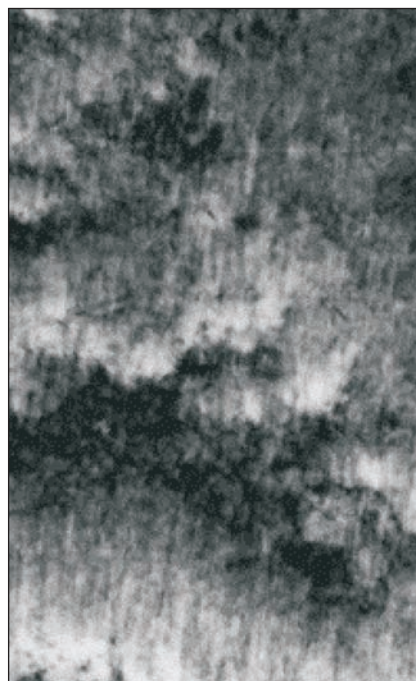
U svrhu izrade histograma drugoga reda za svaku sastojinsku scenu isječen je uzorak (Slika 5; 6; 7; 8) s digitalnog ortofota. Ukupno je obrađeno 80 odsjeka/odjela (sastojinskih scena) u uređajnim razredima hrasta lužnjaka, hrasta kitnjaka i obične bukve. Prilikom izrade uzoraka nastojalo se obuhvatiti što veću površinu sastojinske scene.

U odabiru veličine uzorka imalo se u vidu dvije činjenice:

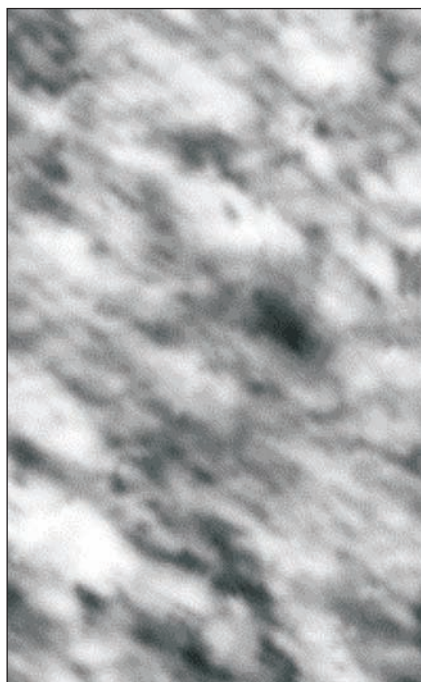
- da se ekstrakcija značajki slike provodi za sastojinske scene (odsjeke/odjele) koje su već stratificirane prema kriterijima uređivanja šuma,
- da odabir veličine matrice (prozora) nije bitan samo iz računalnih razloga, već je značajniji u definiranju reprezentativnog uzorka (Hodgson, 1994; Franklin et al. 2000).



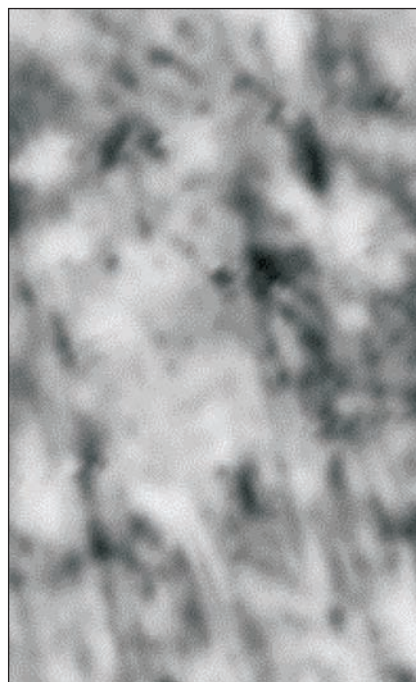
Slika 5. Uzorak sastojinske scene 22a odsjeka (obrast, 0.89)
 Figure 5 Sample of stand scene for subcompartment 22a
 (density, 0.89)



Slika 6. Uzorak sastojinske scene 48a odsjeka (obrast, 0.72)
 Figure 6 Sample of stand scene for subcompartment 48a
 (density, 0.72)



Slika 7. Uzorak sastojinske scene 61 b odsjeka (obrast, 0.64)
 Figure 7 Sample of stand scene for subcompartment 61b
 (density, 0.64)



Slika 8. Uzorak sastojinske scene 44 c odsjeka (obrast, 0.25)
 Figure 8 Sample of stand scene for subcompartment 44c
 (density, 0.25)

Za izradu histograma drugoga reda korišten je program MATLAB 6. 5, odnosno funkcija *imhist2* (Kovačević & Petković, 2004). Navedena funkcija prik-

zuje histogram drugog reda za vektor $D = [D_x \ D_y]$. D je udaljenost između točaka za koje se računa histogram, a zadani vektor pomaka je $D = [1 \ 1]$.

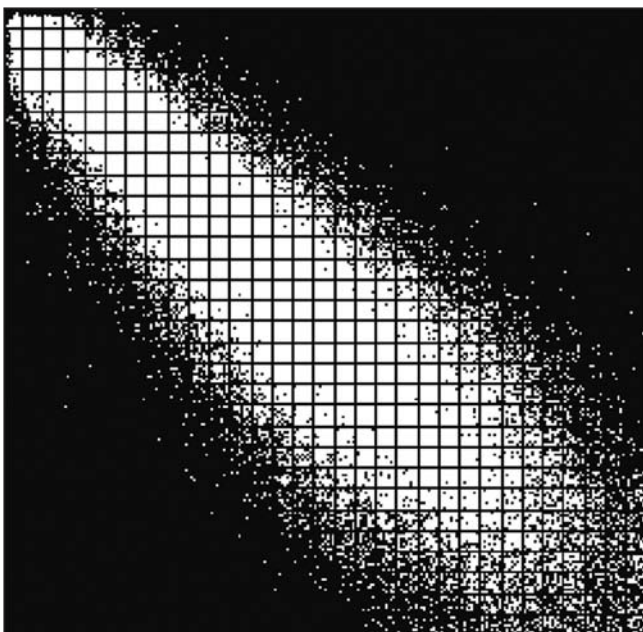
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA – Research results and discussion

Nakon provedbe opisanog postupka utvrđena su tri elipsoidna oblika histograma drugog reda, koji se mo-

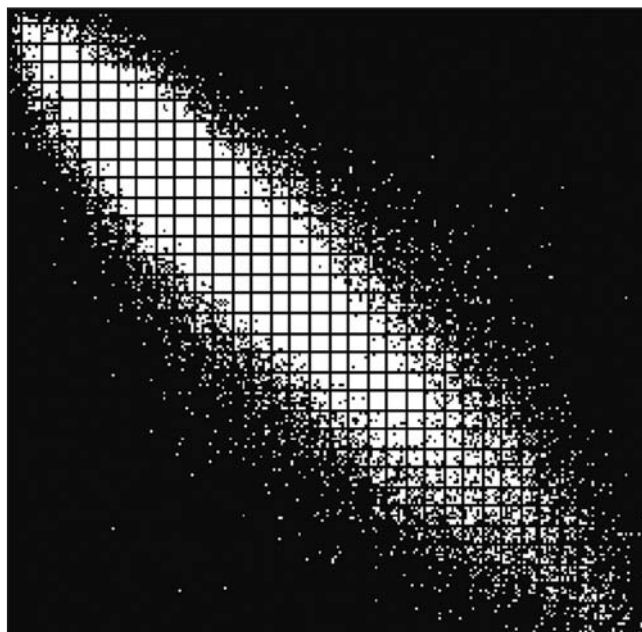
gu pridružiti trima kategorijama relativnog obrasta.

Histogram II reda za sastojine normalnog obrasta (Slika 9; 10)

- Najveća mjera razmazanosti (širine) oko glavne dijagonale,
- Slabija učestalost (frekvencija) događaja u desnom dijelu glavne dijagonale,
- Najveća širina “rešetki”



Slika 9. Histogram II reda 27a odsjeka (obrast, 0.83)
 Figure 9 Second order histogram for subcompartment 27a
 (density, 0.83.)

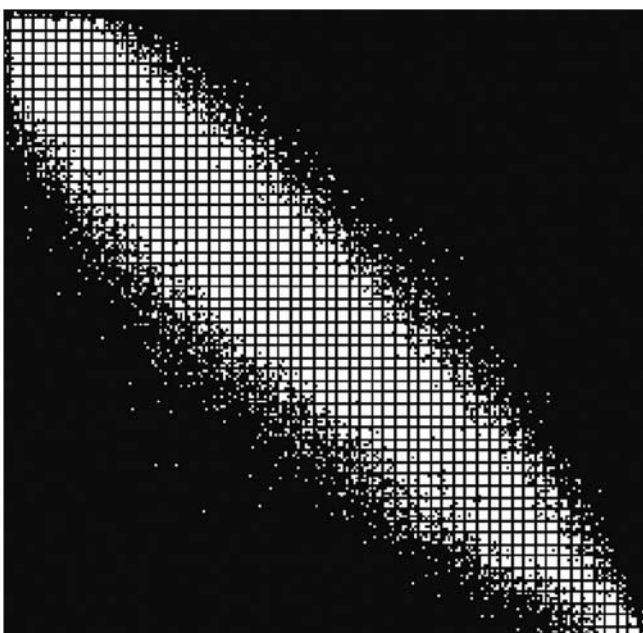


Slika 10. Histogram II reda 69b odsjeka (obrast, 0.94)
 Figure 10 Second order histogram for subcompartment 69b
 (density, 0.94.)

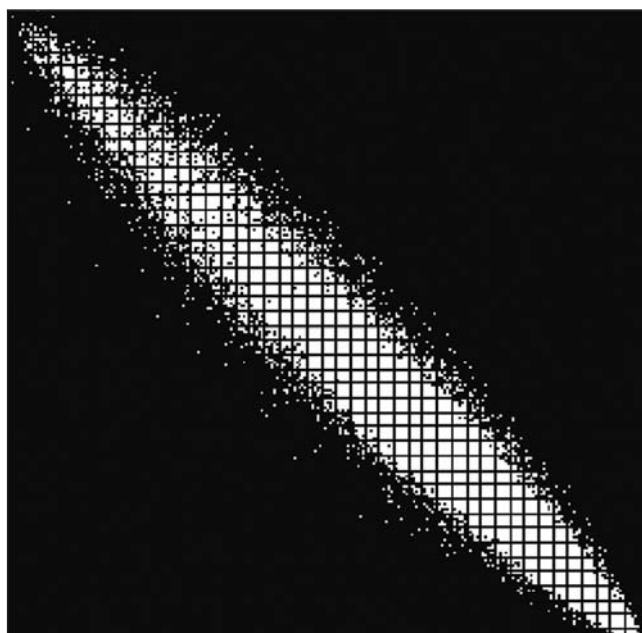
Histogram II reda za sastojine obrasta od 0.5 – 0.8 (Slika 11; 12)

Histogrami drugoga reda za ovu kategoriju obrasta mogu se podijeliti u dvije podgrupe. Histogrami prve podgrupe (Slika 11) slični su histogramima sastojina normalnog obrasta (Slika 9; 10), s tim da im je manja širina glavne dijagonale (slabije uočljivo), dok su zna-

čajno razvidnije manje “rešetke”. Histogrami druge podgrupe (Slika 12) imaju širu glavnu dijagonalu i veće “rešetke” od histograma slabog obrasta (Slika 13; 14). Dakle, histogrami ove grupe izgledom se nalaze između histograma ostalih dviju grupa.



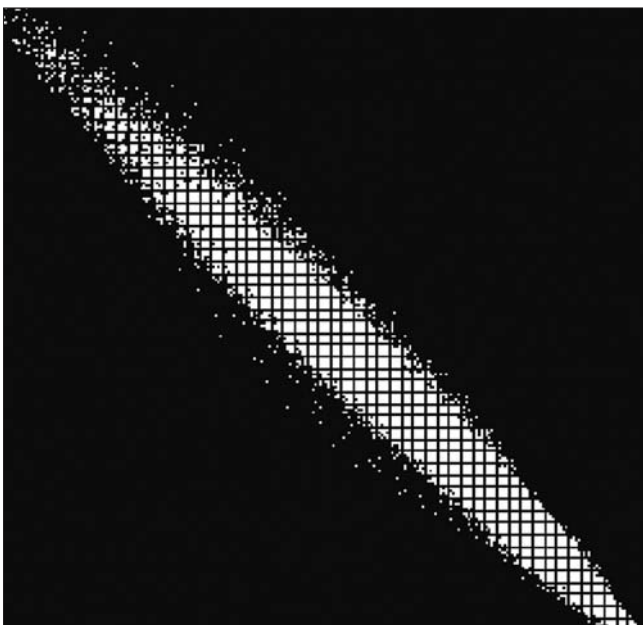
Slika 11. Histogram II reda 48a odsjeka (obrast, 0.72)
 Figure 11 Second order histogram for subcompartment 48a
 (density, 0.72.)



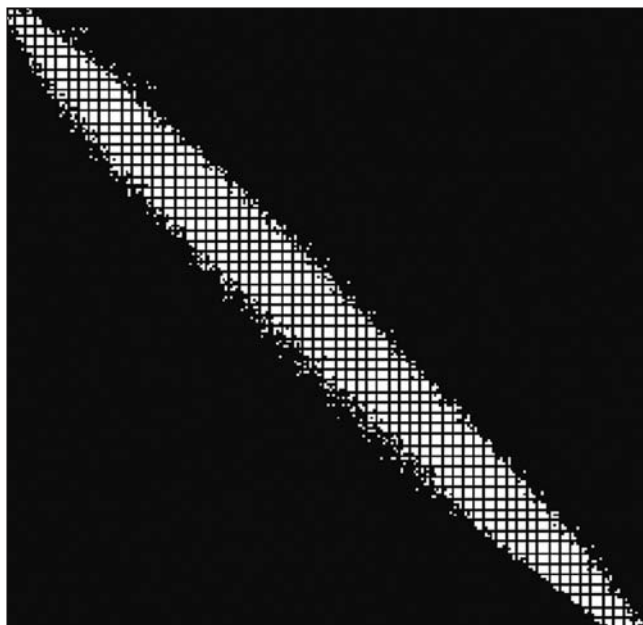
Slika 12. Histogram II reda 45b odsjeka (obrast, 0.51)
 Figure 12 Second order histogram for subcompartment 45b
 (density, 0.51.)

Histogram II reda za sastojine slabog obrasta (Slika 13; 14)

- Najmanja mjera razmazanosti (širine) oko glavne dijagonale,
- Učestalost događaja prisutna je cijelom dužinom glavne dijagonale,
- Najmanja širina “rešetki”.



Slika 13. Histogram II reda 44c odsjeka (obrast, 0.25)
 Figure 13 Second order histogram for subcompartment 44c
 (density, 0.25.)

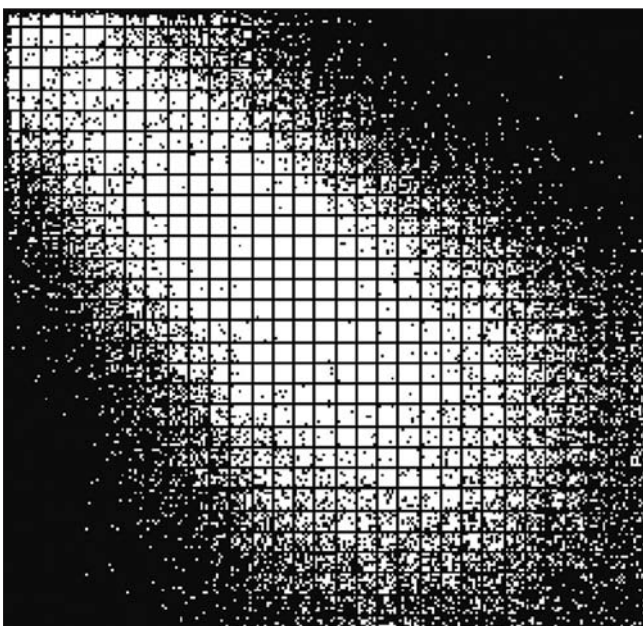


Slika 14. Histogram II reda 46c odsjeka (obrast, 0.26)
 Figure 14 Second order histogram for subcompartment 46c
 (density, 0.26.)

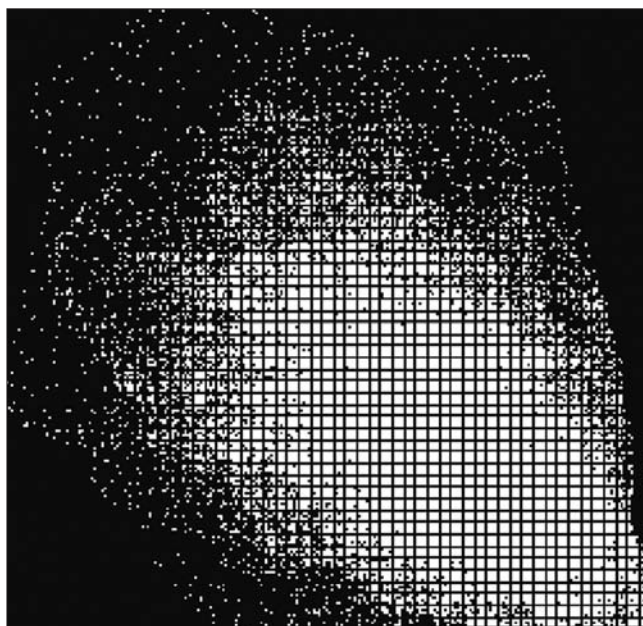
Dakle, intuitivno je moguće na osnovi opisnih značajki histograma drugoga reda (kao i onih prvoga reda) odrediti kojoj kategoriji obrasta pripada sastojina.

Povećanje vrijednosti $[D_x D_y]$, povećava i širinu (razmazanost) histograma drugog reda, čime se počinje gubiti vizualna vrijednost histograma. Naime, digitalne

vrijednosti piksela sastojinske scene nisu jednolično raspoređene duž apscise (0 – 255), nego su uglavnom grupirane oko sredine histograma i uzimanjem većih pomaka npr; $D = [5 5]$ (Slika 15), odnosno $D = [10 10]$ (Slika 16), povećava se vjerojatnost novih događaja, što povećava razmazanost histograma drugog reda.



Slika 15. Histogram II reda 27a odsjeka (obrast, 0.83),
 pomak $D = [5 5]$
 Figure 15 Second order histogram for subcompartment 27a
 (density, 0.83), shift $D = [5 5]$



Slika 16. Histogram II reda 44c odsjeka, (obrast, 0.25),
 pomak $D = [10 10]$
 Figure 16 Second order histogram for subcompartment 44c
 (density, 0.25), shift $D = [10 10]$

Navedene histograme prvoga i drugoga reda ne treba shvaćati apsolutnim, jer kod pojedinih sastojinskih scena, iznimno, histogrami prvoga i drugoga reda u potpunosti ne odgovaraju prethodno opisanim izgledima. Razlog tomu treba tražiti u činjenici da je u ovom slučaju ekstrahirana značajka prirodne teksture (sastojinska scena) u zimskom periodu, na relativno velikoj šumskoj površini, koja je prethodno stratificirana prema kategoriji obrasta, no bez obzira na navedenu stratifikaciju, nemoguće je očekivati ponavljanje uzoraka.

Naime, pri ekstrakciji značajki slike susrećemo se sa problemima heterogenosti i kompleksnosti podataka iz prirodnog okruženja, koje su opisali Cherkassky et al. (2006), a odnose se na: vremenske, dinamičke, prostorne, biometrijske i druge komponente prikupljanja podataka, bilo da je riječ o terestičkom ili daljinskom određivanju kvantitativnih i kvalitativnih varijabli.

5. ZAKLJUČCI – Conclusions

Istraživanje povezanosti histograma drugoga reda s tri kategorije obrasta provedeno je na primjeru gospodarske jedinice “Jamaričko brdo”, šumarije Lipovljani. Na temelju provedenih istraživanja i dobivenih rezultata mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Histogrami drugoga reda mogu se primijeniti u procjeni relativnog sastojinskog obrasta.
- Izrađena su tri osnovna oblika histograma, koji se mogu pridružiti odgovarajućim kategorijama relativnog obrasta.
- Histogrami sastojina normalnog obrasta imaju najveću razmazanost (širinu) oko glavne dijagonale, ali i slabiju učestalost događaja u desnom dijelu dijagonale, kao i najveću širinu “rešetki”.
- Histogrami drugoga reda za sastojine čiji su obrasti manji od normalnog, mogu se podijeliti u dvije podgrupe. Histogrami prve podgrupe slični su histogramima sastojina normalnog obrasta, s tim da im

Posebno treba naglasiti problem koji obilježava istraživanja u području daljinskih istraživanja, gdje je često puta teško raspolagati aero- i satelitskim scenama, odnosno terestičkim podacima, koji su prikupljeni u istom razdoblju (Foody & Curran, 1994; Ingram et al. 2005).

Landek & Kaurić (1998) navode da su ciklična aerofotogrametrijska snimanja Republike Hrvatske iznimno važan projekat za gospodarenje prostorom. Stoga, primjena histograma drugoga reda u daljinskim istraživanjima za potrebe šumarstva, posebice uređivanja šuma, predstavlja kontinuitet dosadašnjih istraživanja (Klobučar, 2003; Pernar & Klobučar, 2003; Pernar et al. 2003; Klobučar, 2004; Klobučar & Pernar, 2005) primjene cikličkih snimaka u šumarstvu, a ujedno dodatni doprinos šumarske struke ovako važnom projektu.

je manja širina glavne dijagonale (slabije uočljivo), dok su značajno razvidnije manje “rešetke”. Histogrami druge podgrupe imaju širu glavnu dijagonalu i veće “rešetke” od histograma slabog obrasta.

- Histogrami sastojina slabog obrasta imaju najmanju mjeru razmazanosti (širinu) oko glavne dijagonale. Učestalost događaja prisutna je cijelom dužinom glavne dijagonale, s tim da je najmanja širina “rešetki”.

Provedenim istraživanjem utvrđena je još jedna mogućnost primjene digitalne analize slike u procjeni obrasta i stanja sastojina. Postupci digitalne analize slike još su uvijek nesavršeni i ne mogu u potpunosti zamijeniti klasične postupke. Stoga se integracija digitalnih i vizualnih metoda u donošenju odluka (u cilju trajnog gospodarenja šumama) smatra svrsishodnim postupkom.

6. LITERATURA – References

- Berberoglu, S., & P. J. Curran, 2006: Merging Spectral and Textural Information for Classifying Remotely Sensed Images. Remote sensing image analysis, 113–136, Springer, Netherlands.
- Bolduc, P., K. Lowell, & G. Edwards, 1999: Automated estimation of localized forest volumes from large-scale aerial photographs and ancillary cartographic information in a boreal forest. *International Journal of Remote Sensing* 20 (18), pp. 3611–3624.
- Cetin, M., T. Kavzoglu, & N. Musaoglu, 2005: Classification of multi-spectral, multi-temporal and multi-sensor images using principal components analysis and artificial neural networks: Beykoz case.
- Cherkassky, V., V. Krasnopolsky, D. P. Solomatine, 2006: Computational intelligence in earth sciences and environmental applications: Issues and challenges. *Neural Networks* 19, 113–121.
- Coburn, C. A., & A. C. B. Roberts, 2004: A multiscale texture analysis procedure for improved forest stand classification. *International Journal of Remote Sensing* 25 (20), pp. 4287–4308.

- Čavlović, J., M. Božić, K. Teslak, 2006: Mogućnosti uspostave potrajnoga gospodarenja šumama hrasta lužnjaka u budućim gospodarskim razdobljima. Glas. šum. pokuse, pos. izd. 5, 419–431, Zagreb.
- Foody, G. M., & P. J. Curran, 1994: Estimation of tropical forest extent and regenerative stage using remotely sensed data. *Journal of Biogeography*, 21, 223–244.
- Franco-Lopez, H., A. R. Ek, & M. E. Bauer, 2001: Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. *Remote Sensing of Environment*, 77, 251–274.
- Franklin, S. E., R. J. Hall, L. M. Moskal, A. J. Maudie, & M. B. Lavigne, 2000: Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*, 21 (1), 61–79.
- Franklin, S. E., A. J. Maudie, M. B. Lavigne, 2001: Using spatial cooccurrence texture to increase forest structure and species composition classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67 (7), 849–855.
- Hagner, O., 2002: Combined estimation of forest parameters from high-and midium resolution satellite and forest inventory data. *ForestSAT Symposium Heriot Watt University, Edinburg*.
- Haralick, R. M., K. Shanmugam, & I. Dinstein, 1973: Textural features for image classification, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3: 610–621.
- Hay, G. J., K. O. Niemann, & G. F. McLean, 1996: An object-specific image-texture analysis of H-resolution forest imagery. *Remote Sensing of Environment*, 55 (2), 108–122.
- Hodgson, M. E., 1994: Window size and visual image classification accuracy: an experimental approach: *ASPRS Technical Papers, 1994 ASPRS –ACSM Ann. Conv.*, v. 2, 209–218.
- Holmström, H., 2002: Estimation of single tree characteristics using the kNN method and plot-wise aerial photograph interpretations. *Forest Ecology and Management*, Volume 167, Issues 1–3, 303–314.
- Howard, J. A., 1991: *Remote Sensing of Forest Resources*. Chapman & Hall. 418 pp.
- Ingram, J. C., T. P. Dawson, & R. J. Whittaker, 2005: Mapping tropical forest structure in southeastern Madagascar using remote sensing and artificial neural networks. *Remote Sensing of Environment* 94, 491–507.
- Joshi, C., Jan. De Leeuw, A. K. Skidmore, I. C. van Duren, H. Oosten, 2006: Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8, 84–95.
- Kayitakire, F., C. Hamel, P. Defourny, 2006: Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS – 2 imagery. *Remote Sensing of Environment* 102, 390–401.
- Klobučar, D., 2003: Ocjena točnosti geokodiranja Osnovne državne karte i digitalnog ortofota. *Šum. list* 9–10, 457–465, Zagreb.
- Klobučar, D., 2004: Izlučivanje sastojina prema sklopu na digitalnom ortofotu i usporedba sa terestičkim izlučivanjem. *Rad. Šumar. inst.* 39 (2): 223–230, Jastrebarsko.
- Klobučar, D., R. Pernar, 2005: Picture histogram and interpretation of digital orthophotos in forest management. *Proceedings of the 4th international symposium on image and signal processing and analysis*: 395–401, Zagreb.
- Kovačević, D., & T. Petković, 2004: *Zavod za elektroničke sustave i obradu informacija. Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. Upute za laboratorijske vježbe iz digitalne obrade slike*, 53–54.
- Kuplich, T. M., 2006: Classifying regenerating forest stages in Amazonia using remotely sensed images and a neural network. *Forest Ecology and Management* 234, 1–9.
- Kušan, V., 1992: Procjena volumena sastojina četinjača fotointerpretacijom aerosnimaka uz pomoć prirasno-prihodnih tablica. *Meh. šuma* (3–4): 53–66, Zagreb.
- Kušan, V., & V. Krejčić, 1993: Regresijski model za procjenu volumena sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na aerosnimkama. *Radovi*, 28 (1–2): 69–77, Jastrebarsko.
- Kušan, V., & R. Pernar, 1996: Procjena prsnog promjera i temeljnice najznačajnijih vrsta drveća gorskog područja na temelju veličina mjerljivih na aerosnimkama. *Unapređenje proizvodnje biomase šumskih eko sustava (knjiga 1)*: 157–168, Zagreb.
- Kušan, V., 1996: Kartiranje šuma pomoću Landsat TN satelitskih snimaka, *Disertacija*, 159, Šumarski fakultet Zagreb.
- Kušan, V., & R. Pernar, 2001: Primjena satelitskih snimaka za procjenu stanja sastojina. *Znanstvena knjiga “Znanost u potrajnom gospodarenju Hrvatskim šumama”*, 429–434, Zagreb.

- Landek, J., & D. Kaurić, 1998.: Ciklička aerofotogrametrijska snimanja u Republici Hrvatskoj. Zbornik radova sto godina fotogrametrije u Hrvatskoj. HAZU: 249–254, Zagreb.
- Linderman, M., J. Liu, J. Qi, L. An, Z. Ouyangs, J. Yang, & Y. Tan, 2004: Using artificial neural networks to map the spatial distribution of understory bamboo from remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25. No. 9, 1685–1700.
- Lončarić, S., 2003: Predavanja. <http://ipg.zesoi.fer.hr>
- Pax-Lenney, M., C. E. Woodcock, S. A. Macomber, S. Gopal, C. Song, 2001: Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment* 77, 241–250.
- Pernar, R., & D. Klobučar, 2003: Estimating stand density and condition with use of picture histograms and visual interpretation of digital orthophotos. *Glas. šum. pokuse* 40: 81–111, Zagreb.
- Pernar, R., D. Klobučar, & V. Kušan, 2003: The application of aerial photographs from cyclic recordings in the Republic of Croatia to forest management. *Glas. šum. pokuse* 40: 113–168, Zagreb.
- Posarić, D., 1996: Postupak dobivanja kolor kompozita kao podloga za vizualnu interpretaciju satelitskih snimki. Diplomski rad, 65, Šumarski fakultet Zagreb.
- Pranjić, A. & N. Lukić, 1997: Izmjera šuma. Zagreb, 405 pp.
- Quackenbush, L., P. Hopkins, & G. Kinn, 2000: Developing forestry products from high resolution digital aerial imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (11), pp. 1337–1346.
- St-Onge, B., F. Cavayas, 1997: Automated forest structure mapping from high resolution imagery based on directional semivariogram estimates. *Remote Sensing of Environment* 61, pp. 82–95.
- Verbeke, L. P. C., F. M. B. Van Coillie, & R. R. DeWulf, 2006: Object-based forest stand density estimation from very high resolution optical imagery using wavelet-based texture measures. In: 1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006).
- Wulder, M., K. Niemann, & D. Goodenough, 2000: Local maximum filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment* 73, pp. 103–114.
- Osnova gospodarenja za g. j. “Jamaričko brdo”, važnost 1. 1. 2002. – 31. 12. 2011.
 - Pravilnik o uređivanju šuma, NN 111/06.

SUMMARY: The paper continues on past research into the application of digital stand scene processing and digital orthophoto processing for the needs of forest management. Black-and-white aerial photographs obtained during cyclic surveying of the Republic of Croatia were used for this purpose at an approximate scale 1:20,000 and 60 % overlap. Research was based on the example of the management unit “Jamaričko Brdo” of Lipovljani Forest Office.

The most commonly used parameter for quantitative stand descriptions is density. Since the application of digital processing techniques of stand scenes in the last ten years has resulted in the development of new methods of stand density evaluation, an additional possibility was investigated of cyclic photograph application by constructing second order histograms and establishing their relationship with three relative density categories.

First order histograms represent a graphic display of the proportion of some numerical values in the pixels of a digital photograph. Shades of gray ranging from 0 to 225 are found on the horizontal histogram axis, and the total number of pixels with these shades is found on the vertical axis.

Texture measures calculated only by means of the first order histogram data are deficient because they do not give information related to the relative relationship between the pixels themselves.

Texture may be described by measuring the smudginess (width) of a histogram around the main diagonal. Such type of textural data does not relate only to intensity distribution (gray scale) but also to the position of pixels with the same or similar values.

Namely, instead of only one point, any pair of picture points may be observed in a similar way, whose mutual position is determined with a relation. In this case, the assumed random experiment becomes two-dimensional, and evaluation or estimation of a probability density function is obtained from a second order histogram.

This is the reason that researchers in the field of remote sensing use data obtained from second order histograms to analyze texture and perform classifications. First order histograms are less frequently used. Texture features obtained with second order histograms are used in forestry remote sensing, especially for purposes of texture classification or segmentation, but are rarely used for stand parameter estimation.

This research indicates yet another possibility of applying digital image analysis to the assessment of relative density and stand condition. Second order histograms may be used to evaluate stand density. Three basic histogram shapes were constructed which can be associated with the related density categories.

Cyclic aerial photogrammetric survey of the Republic of Croatia is an exceptionally important project for space management. Hence, the application of second order histograms in remote sensing for the needs of forestry and for forest management in particular, shows continuity of research into the use of cyclic imaging in forestry. At the same time, it is yet another contribution of forestry to this project.

According to the available literature treating this issue, research in the past generally involved histogram analysis for the purpose of automatically recognizing crowns in the images during the vegetation period. Histogram analysis, especially in pictures obtained during vegetation dormancy, i.e. when vegetation is without leaves, is a relatively new approach.

Procedures of digital picture analysis are still imperfect and cannot fully replace classical procedures. Consequently, integrating digital and visual methods in decision making (with the goal of sustainable forest management) is considered appropriate.

Key words: cyclic records, density, first and second order histograms, digital ortophoto, texture.