

USPOREDBA PROCJENE OŠTEĆENOSTI KROŠANJA NA ANALOGNIM I DIGITALNIM INFRACRVENIM KOLORNIM (ICK) AEROSNIMKAMA

COMPARISON OF CROWN DAMAGE ASSESSMENT ON ANALOG AND DIGITAL INFRARED COLOR (CIR) AERIAL PHOTOGRAPHS

Jelena KOLIĆ^{1*}, Renata PERNAR¹, Ante SELETKOVIĆ¹, Mirna SAMARŽIJA² and Mario ANČIĆ¹

SAŽETAK

Negativne posljedice propadanja šuma nastoje se umanjiti provođenjem gospodarskih mjera i praćenjem zdravstvenog stanja stabala, odnosno procjenom oštećenosti krošanja. Utvrđivanje zdravstvenog stanja šuma provodi se, osim terestričkim načinom, i metodama daljinskih istraživanja – interpretacijom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka.

Inventarizacija oštećenosti šuma pomoću aerosnimaka temelji se na ustanovljavanju stupnja oštećenosti pojedinačnih stabala (krošanja), uz kvalitetno izrađen fotointerpretacijski ključ. Na temelju provedene fotointerpretacije infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka, mogu se odrediti pouzdani statistički podaci o oštećenosti šuma. Inventarizacije oštećenosti šuma na ICK aerosnimkama do sada su se provodile fotointerpretacijom analognih aerosnimaka na analitičkim stereoinstrumentima. Napretkom tehnologije analogne snimke su zamijenjene digitalnim, analitički stereoinstrumenti - digitalnim fotogrametrijskim stanicama, a interpretacija se obavlja u programu na zaslonu računala.

Osnovni cilj istraživanja bio je usporediti rezultate procjene oštećenosti krošanja na analognim i digitalnim ICK aerosnimkama istoga područja, zbog čega je bilo potrebno aerosnimke iz 1989. godine skeniranjem prevesti u digitalni oblik, te digitalne snimke iz 2008. godine prevesti u analogni oblik.

Za dio gospodarskih jedinica Josip Kozarac i Opeke, provedena je interpretacija analognih i digitalnih aerosnimaka iz dva perioda snimanja (1989. i 2008. godina). Na svakoj točki rastera 100x100 m procijenjena su 4 najbliža stabla (krošnje) te izračunati pokazatelji oštećenosti (O, SO, IO, SO₂) za pojedine vrste drveća, za sve interpretirane vrste zajedno, po prugama snimanja, te ukupno za područje istraživanja.

Na temelju izračunatih pokazatelja oštećenosti, dobivenih interpretacijom analognih i digitalnih snimaka iz 1989., te 2008. godine, utvrđeno je da između rezultata ne postoji značajna razlika s obzirom na procjenu zdravstvenog stanja stabala (oštećenosti krošanja).

Time su poboljšane postojeće metode procjene zdravstvenoga stanja i ukazano na mogućnosti primjene digitalnih ICK aerosnimaka u šumarstvu.

KLJUČNE RIJEČI: procjena oštećenosti krošanja hrasta lužnjaka i poljskog jasena, vizualna interpretacija, analogne infracrvene kolorne (ICK) aerosnimke, digitalne infracrvene kolorne (ICK) aerosnimke, zrcalni stereoskop, digitalna fotogrametrijska radna stanica

¹ Doc. dr. sc. Jelena Kolić, jkolic@sumfak.unizg.hr (dopisni autor); Prof. dr. sc. Renata Pernar, rpernar@sumfak.unizg.hr; Prof. dr. sc. Ante Seletković, aseletkovic@sumfak.unizg.hr; Doc. dr. sc. Mario Ančić, mancic@sumfak.unizg.hr, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zavod za izmjeru i uređivanje šuma, Svetošimunska cesta 23, 10000 Zagreb

² Mirna Samaržija, univ. bacc. ing. silv., mirnasenj@gmail.com, Brinjska ulica 12, 53270 Senj

UVOD

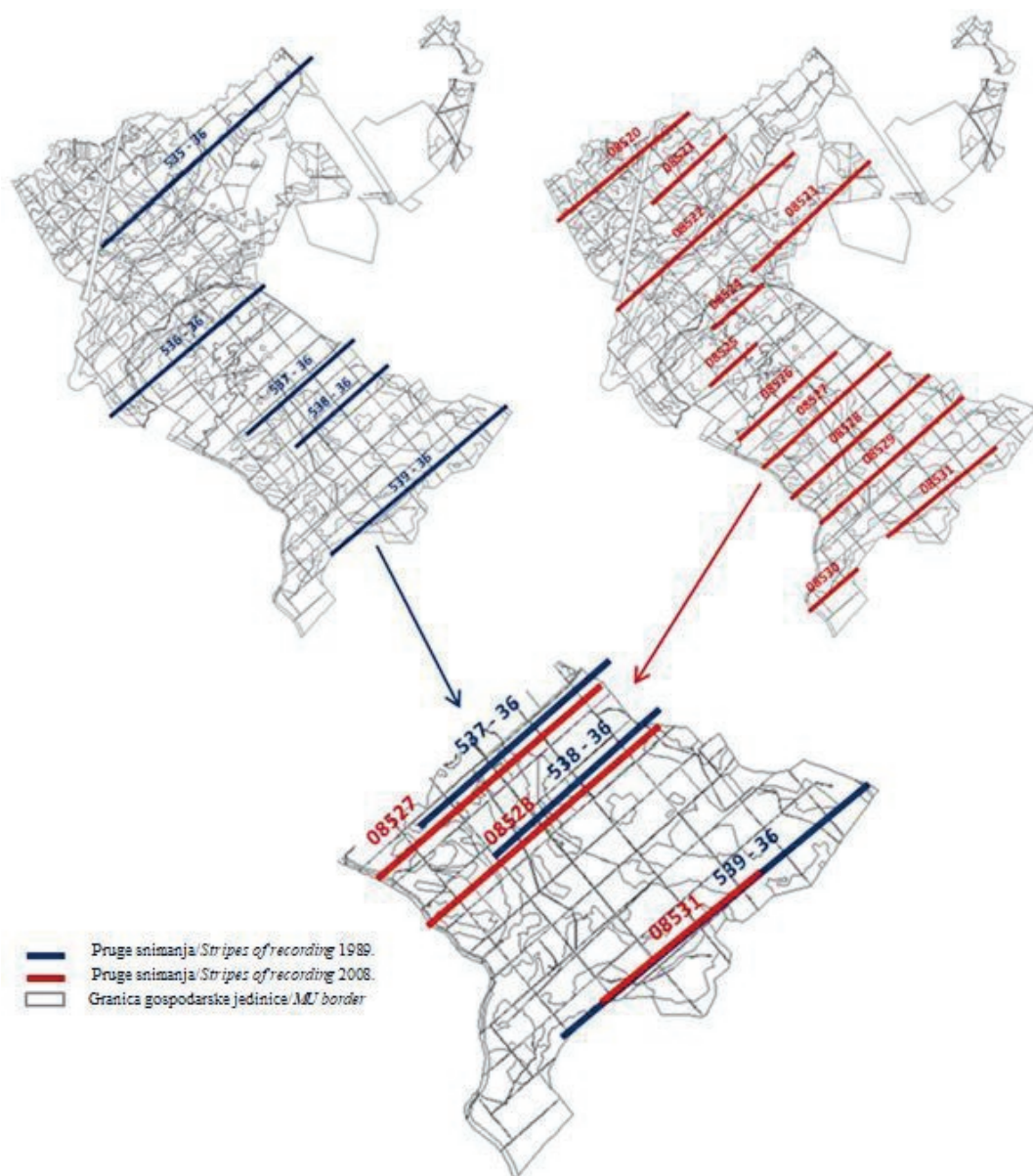
INTRODUCTION

Odumiranje stabala hrasta lužnjaka problem je koji je prisutan gotovo u cijeloj Europi i Svijetu, te je već dugo vremena aktualna tema i na području Hrvatske, jer su sušenjem zahvaćena i najvrednija šumska područja u slavonskoj Posavini (Tikvić i dr. 2011, Ugarković i Pleša 2017). Negativne posljedice, masovnog sušenja šuma nastoje se umanjiti provođenjem gospodarskih mjera i praćenjem zdravstvenog stanja pojedinačnih stabala, odnosno procjenom oštećenosti krošanja (Dubravac i dr. 2011, Guerra-Hernández i dr. 2021).

Utvrđivanje zdravstvenog stanja šuma, osim terestričkim načinom (Eichorn i dr. 2016) provodi se i metodama daljin-

skih istraživanja – interpretacijom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka (Kalafadžić i dr. 1990). Prema Pernar i Šelendić (2006) za utvrđivanje zdravstvenog stanja šuma, metodama daljinskih istraživanja, najpogodnija je interpretacija infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka. Istraživanja mogućnosti primjene infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka provodili su mnogi znanstvenici u Europi i Svijetu (Masumy 1984, Hočevar i Hladnik 1988, Ekstrand 1994, Innes i Koch 1998, Butler i Schlaepfer 2004, Ciesla 2009, Wulder i dr. 2012, Eigirdas i dr. 2013, Lehmann i dr. 2015, Dash i dr. 2017, Safonova i dr. 2019).

Također su se i u Hrvatskoj provodila istraživanja o mogućnostima primjene metoda daljinskih istraživanja u šumarstvu (Pernar 1994, Kušan 1996, Pernar 1997, Pernar i Klobučar 2003, Pernar i dr. 2007a, 2007b, Klobučar i Pernar



Slika 1. Pruge snimanja provedenog 1989. i 2008. godine na području GJ Josip Kozarac i GJ Opeke
Figure 1. Stripes of recording conducted in 1989 and 2008 in the area of MU Josip Kozarac and MU Opeka

2009, Pernar i dr. 2011, Seletković i dr. 2011, Balenović i dr. 2011, 2015, 2017, Kolić i dr. 2015, 2018, Ančić i dr. 2019, Pernar i dr. 2020).

Sva dosadašnja istraživanja, vezana uz inventarizaciju oštećenosti šuma u Hrvatskoj, provedena su fotointerpretacijom analognih aerosnimaka na analitičkim stereoinstrumentima. Prema Kalafadžić i dr. (1993) prve inventure oštećenosti šuma u Hrvatskoj primjenom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka provedene su 1988. godine - u bukovo-jelovim šumama u jugozapadnoj Hrvatskoj, gdje je oštećenost krošanja procijenjena za običnu jelu, običnu smreku i običnu bukvu, te 1989. godine - u šumskom bazenu Spačva te u okolici Lipovljana, gdje su oštećenosti procijenjene za hrast lužnjak, poljski jasen i obični grab. Ponovno snimanje ICK filmom, područja spačvanskog bazena i područja Uprave šuma Gospić, provedeno je 2005. godine, a područja Slavonske Posavine 2007. godine. Pernar i dr. su fotointerpretacijom ICK aerosnimaka proveli inventarizaciju oštećenosti šuma te odredili pouzdane statističke podatke o oštećenosti šuma spačvanskog bazena (2007a) te šumskih sastojina na području UŠP Gospić (2007b). Kolić i dr. (2015) su odredili pouzdane statističke podatke o oštećenosti šuma područja Slavonske Posavine.

Napretkom tehnologije analogne snimke su zamijenjene digitalnim, a analitički stereoinstrumenti - digitalnim fotogrametrijskim stanicama. Uporabom digitalne fotogrametrijske stanice (DFS) i interpretacijom digitalnih aerosnimaka, u programu, na zaslonu računala (Magnusson i dr. 2007) prestaje potreba za filmovima, fotoobradom i skeniranjem, a interpretacija postaje brža i jednostavnija u odnosu na klasičnu vizualnu interpretaciju pomoću stereoskopa (Nelson i dr. 2001).

Cilj ovoga rada bio je usporediti rezultate interpretacije analognih i digitalnih ICK aerosnimaka, te ispitati da li između rezultata dobivenih interpretacijom analognih i digitalnih ICK aerosnimaka postoji statistički značajna razlika s obzirom na procjenu zdravstvenog stanja stabala, odnosno oštećenosti krošanja.

MATERIJAL I METODE MATERIAL AND METHODS

Istraživanjem je obuhvaćeno područje gospodarske jedinice (GJ) "Josip Kozarac", šumarija Lipovljani te područje NPŠO Lipovljani, gospodarska jedinica "Opeke" (Slika 1).

Oštećenost krošanja, a samim time i zdravstveno stanje stabala procijenjeno je na analognim i digitalnim ICK aerosnimkama iz dva perioda snimanja, za glavne vrste drveća - hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) i poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl).

U tu svrhu korištene su analogne snimke iz 1989. godine, kada je područje istraživanja prvi puta snimljeno klasičnom

(analognom) kamerom, te digitalne snimke iz 2008. godine, kada je područje, za potrebe šumarstva, po prvi put snimljeno digitalnom kamerom.

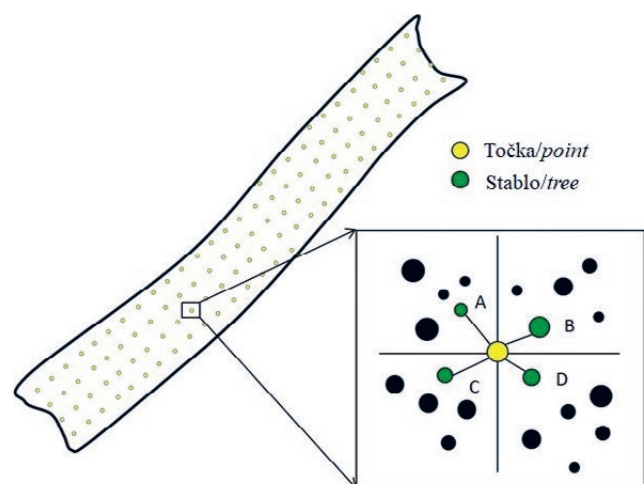
Kako bi se metode interpretacije mogle međusobno usporediti, u obzir su uzete snimke s istih pruga iz dva perioda snimanja: 08527, 08528 i 08531 iz 2008. godine, te pruge 537-36, 538-36 i 539-36 iz 1989. godine (Slika 1).

Zbog provedbe interpretacije, a u svrhu procjene oštećenosti krošanja na analognim i digitalnim ICK aerosnimkama istoga područja, bilo je potrebno aerosnimke iz 1989. godine skeniranjem prevesti u digitalni oblik te digitalne snimke iz 2008. godine prevesti u analogni oblik.

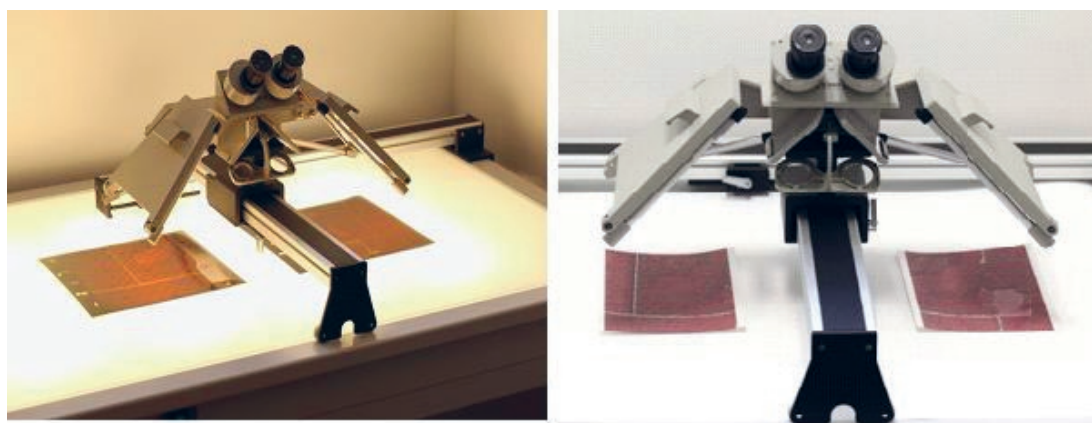
Interpretacija se provela na temelju jedinstvenog uzorka izabranog na osnovi matematičko - statističke analize. Na sistematskom uzorku mreže točaka 100x100 m, na svakoj točki su interpretirane 4 krošnje najbliže točki rastera u gornjem lijevom i desnom te donjem lijevom i desnom uglu (Slika 2).

Prije same fotointerpretacije bilo je potrebno utvrditi način preslikavanja oštećenosti krošanja, kako bi mogli provesti razvrstavanje stabala u pojedine stupnjeve oštećenosti. Fotointerpretacija stupnjeva oštećenosti krošanja provedena je pomoću pomno izrađenog fotointerpretacijskog ključa za područje istraživanja, u kojem je slikovno i opisno prikazan način preslikavanja pojedine vrste drveća i stupnjeva oštećenosti stabala na aerosnimkama (Pernar 1994). Fotointerpretacijski ključ izrađen je za snimke iz 1989. godine i korigiran prema boji preslikavanja za snimke iz 2008. godine.

Analogne aerosnimke interpretirane su u stereomodelu pomoću zrcalnog stereoskopa SOKKIA MS27 povećanje (8x) - snimke iz 1989. godine, koje su original film, na stolu za



Slika 2. Primjer interpretacije 4 krošnje najbliže točki rastera
Figure 2. Example of interpretation of 4 crowns closest to raster point



Slika 3. Interpretacija analognih snimaka (original film) iz 1989. godine zrcalnim stereoskopom na stolu za prosvjetljavanje (lijevo), te analognih snimaka (kontakt kopije - fotografije) iz 2008. godine

Figure 3. Interpretation of analog images (original film) from 1989 with a mirror stereoscope on the lighting table (left), and analog recordings (contact copies - photographs) from 2008 (right)

prosvjetljavanje, te snimke iz 2008. godine, koje su pretvorene iz digitalnog u analogni oblik tj. fotografije (Slika 3).

Sistematski uzorak 100x100 m najprije je označen na topografskoj karti 1:5000 (HOK). Nakon provedene radijalne triangulacije, omogućeno je prenošenje istog na folije. Na taj način je preko aerosnimaka postavljen jedinstveni uzorak i omogućena je interpretacija na istim točkama.

Podaci dobiveni interpretacijom analognih aerosnimaka upisani su u bazu podataka za područje istraživanja i tako pripremljeni za daljnju statističku obradu i razne geoprostorne analize u programskom paketu ArcGIS 9.3.

Digitalne aerosnimke (iz 1989. i 2008. godine) interpretirane su na digitalnoj fotogrametrijskoj stanici (DFS) u programskom paketu PHOTOMOD Lite 4.4.684 (Slika 4).

Prije same interpretacije na DFS bilo je potrebno analogne snimke iz 1989. godine skeniranjem prevesti u digitalni oblik. Zatim su u programu kreirani projekti (5 projekata za snimke iz 2008. godine i 3 projekta za snimke iz 1989. godine) i kodne tablice (32 za snimke iz 2008. i 19 za snimke iz 1989. godine). Interpretirani objekti (stabla) su u kodnoj tablici opisani kodnim imenom i brojem stereopara na kojem su prikupljeni, oblikom (točka), bojom, simbolom i



Slika 4. Digitalna fotogrametrijska stanica za interpretaciju digitalnih snimaka u stereomodelu

Figure 4. Digital photogrammetric station for interpretation of digital images in stereo model

Tablica 1. Broj interpretiranih stabala po stupnjevima oštećenosti (1989. godina)**Table 1.** Number of interpreted trees by degree of damage (1989)

Stupanj oštećenosti/ <i>Degree of damage</i>	1989. godina/ <i>year</i>	
	ANALOGNO/ <i>ANALOG</i>	DIGITALNO/ <i>DIGITAL</i>
0	21	10
1	1617	1181
2a	1659	2029
2b	533	651
3a	138	108
3b	17	6
4	7	7
Σ	3992	3992

dotatnim atributima (broj stabla, položaj, vrsta, oštećenost).

Nakon kreiranih projekata i kodnih tablica, uz pomoć fotointerpretacijskog ključa pristupilo se interpretaciji digitalnih ICK aerosnimaka. Kao i kod analognih snimki, na istom sistematskom uzorku 100x100 m na svakoj točki rastera, preklapljenog preko aerosnimaka iz 1989. i 2008. godine, interpretirane su 4 najbliže krošnje. Podaci prikupljeni interpretacijom digitalnih aerosnimaka na DFS su eksportirani u .DXF formatu, zbog daljnje statističke obrade, te u .SHP formatu za provođenje geoprostornih analiza i izradu tematskih karata u programskom paketu ArcGIS 9.3.

Na temelju rezultata fotointerpretacije analognih i digitalnih aerosnimaka izračunati su pokazatelji oštećenosti (oštećenost - O, srednja oštećenost - SO, indeks oštećenosti - IO, srednja oštećenost značajno oštećenih stabala - SO₁) po formulama (Kalafadžić i dr. 1989, 1990) za pojedine vrste drveća, za sve interpretirane vrste zajedno i to za pojedine

pruge snimanja te ukupno za cijelo snimljeno područje (odjeli/odsjeci zahvaćeni snimanjem).

Izračunati pokazatelji oštećenosti bili su podloga za statističku obradu podataka i izradu kartografskih slojeva (prostorne analize). Izračunati pokazatelji oštećenosti te broj interpretiranih stabala bili su ulazne varijable za statističku obradu podataka, te dio grafičkih prikaza koji su odrađeni u programskom paketu STATISTICA 7.1. Za sve analizirane varijable napravljena je deskriptivna statistika (Jazbec 2008).

Za testiranje načina interpretacije analognih i digitalnih ICK aerosnimaka s obzirom na procjenu zdravstvenog stanja stabala, uz istu veličinu uzorka (mreža točaka 100x100 m, 4 najbliže krošnje) korišten je test parova za zavisne uzorke (Sokal i Rohlf 1995).

Sukladno dobivenim rezultatima interpretacije zdravstvenog stanja stabala na rasteru 100x100 m, izrađeni su tematski slojevi s prostornom raspodjelom srednje oštećenosti (SO) ukupno za sve vrste na pojedinim prugama snimanja te za područje istraživanja (odjeli/odsjeci).

Tablica 2. Pokazatelji oštećenosti po prugama snimanja, za analogne i digitalne snimke (1989. godina)**Table 2.** Indicators of damage by stripes of recording for analog and digital images from 1989

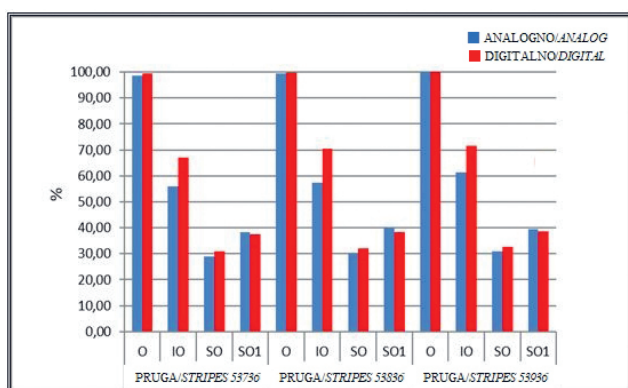
Pruge snimanja/ <i>Stripes of recording</i>	Pokazatelji oštećenosti/ <i>Indicators of damage (%)</i>	ANALOGNO/ <i>ANALOG</i>			DIGITALNO/ <i>DIGITAL</i>		
		Vrsta drveća/ <i>Tree species</i>		UKUPNO/ <i>TOTAL</i>	Vrsta drveća/ <i>Tree species</i>		UKUPNO/ <i>TOTAL</i>
		HRAST/ <i>OAK</i>	JASEN/ <i>ASH</i>		HRAST/ <i>OAK</i>	JASEN/ <i>ASH</i>	
		%		%			
PRUGA/ <i>Stripes</i> 53736	O	98,72	98,40	98,64	99,49	98,80	99,32
	IO	55,20	58,80	56,07	67,01	67,20	67,06
	SO	28,59	30,38	29,03	30,87	30,98	30,90
	SO ₁	37,89	39,74	38,36	37,55	37,78	37,61
PRUGA/ <i>Stripes</i> 53836	O	99,19	100,00	99,36	99,65	100,00	99,73
	IO	54,01	69,79	57,39	68,76	76,60	70,44
	SO	28,84	35,72	30,31	31,03	36,18	32,14
	SO ₁	38,68	43,61	39,97	37,25	41,89	38,33
PRUGA/ <i>Stripes</i> 53936	O	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	IO	61,15	64,43	61,49	71,25	75,77	71,72
	SO	30,73	32,77	30,94	32,52	33,97	32,67
	SO ₁	39,13	41,20	39,36	38,58	39,23	38,65

REZULTATI I RASPRAVA RESULTS AND DISCUSSION

Rezultati interpretacije oštećenosti krošnja na ICK aerosnimkama iz 1989. godine – *Results of the interpretation of canopy damage on CIR aerial photographs from 1989*

Za istraživano područje, fotointerpretacija pojedinačnih krošnja (4 krošnje najbliže točki rastera) provedena je prema sistematskom uzorku 100x100 m na analognim (izvornim) ICK aerosnimkama pomoću zrcalnog stereoskopa, te digitalnim (fotografije) na fotogrametrijskoj radnoj stanici. Ukupno su interpretirana 3992 stabla. Iz tablice 1 vidljivo je da se i na analognim i na digitalnim snimkama najveći dio stabala nalazi u stupnju oštećenosti 2a, tj. u kategoriji oštećenosti od 26 do 40 %.

Na temelju dobivenih podataka izračunati su pokazatelji oštećenosti za glavne vrste drveća (hrast lužnjak, poljski jasen) i sve interpretirane vrste zajedno po prugama snimanja (Tablica 2., Slike 5 i 6).



Slika 5. Pokazatelji oštećenosti ukupno po prugama snimanja (1989. godina) na analognim i digitalnim snimkama

Figure 5. Damage indicators (total) by recording stripes (1989) on analog and digital images



Na temelju slike 5 i tablice 2 vidimo da je srednja (SO=30,94%) i značajna oštećenost (IO=61,49%) za sve interpretirane vrste zajedno najveća na pruzi 53936 na analognim, kao i na digitalnim snimkama (SO=32,67%; IO=71,72%). Na toj pruzi sva stabla koja su ušla u uzorak za interpretaciju (100x100m) bila su oštećena (O=100%). Nasuprot tomu, rezultati istraživanja pokazuju da je najmanja zabilježena oštećenost na pruzi 53736, kako na analognim (SO=29,03%, IO=56,07%), tako i na digitalnim snimkama (SO=30,90%, IO=67,06%).

Iako su vidljive razlike u pokazateljima oštećenosti po prugama snimanja za analogne i digitalne aerosnimke, sva interpretirana stabla, odnosno sastojine se nalaze u istom stupnju oštećenosti (26 – 40 %).

Na temelju dobivenih rezultata istraživanja pristupilo se izradi kartografskih prikaza prostornog rasporeda oštećenosti sastojina po odjelima/odsjecima. Za tu svrhu raster točaka na DOF-u (100x100m) preklapljen je sa gospodarskom podjelom, te su na taj način dobiveni pokazatelji oštećenosti, tj. kreirana baza podataka po pojedinim odjelima/odsjecima.

Na temelju dobivenih rezultata izrađene tematske karte srednjih oštećenosti (Slika 6) za sve interpretirane vrste zajedno.

Rezultati interpretacije oštećenosti krošnja na ICK aerosnimkama iz 2008. godine – *Results of the interpretation of canopy damage on CIR aerial photographs from 2008*

Na analognim i digitalnim (izvornim) aerosnimkama iz 2008. godine, fotointerpretacijom pojedinačnih krošnja (4 najbliže točki rastera) na sistematskom uzorku 100x100 m ukupno je interpretirano 5258 stabala. Najveći broj interpretiranih stabala nalazi se u stupnju oštećenosti 1, odnosno u kategoriji od 11 – 25 % (Tablica 3).



Slika 6. Prostorni raspored srednje oštećenosti za analogne snimke (lijevo) i digitalne snimke (desno) iz 1989. godine po odjelima/odsjecima

Figure 6. Spatial distribution of mean damage for analog images (left) and digital images (right) from 1989 by departments/sections

Tablica 3. Broj interpretiranih stabala po stupnjima oštećenosti (2008. godina)**Table 3.** Number of interpreted trees by degree of damage (2008)

Stupanj oštećenosti/Degree of damage	2008. godina/year	
	ANALOGNO/ ANALOG	DIGITALNO/ DIGITAL
0	90	264
1	1782	2098
2a	1536	1688
2b	973	829
3a	454	273
3b	401	84
4	22	22
Σ	5258	5258

Na temelju interpretacije izračunati su pokazatelji oštećenosti za hrast lužnjak, poljski jasen i sve interpretirane vrste zajedno po prugama snimanja (Tablica 4).

Iz slike 7 i tablice 4 vidljivo je da je srednja oštećenost (SO=37,09%) i značajna oštećenost (IO=63,06%) za sve interpretirane vrste zajedno, na analognim snimkama, najmanja na pruzi 08527, a na digitalnim (SO=29,02%, IO=50,19%) na pruzi 08531.

Bez obzira što su vidljive razlike u pokazateljima oštećenosti, možemo zaključiti da je srednja oštećenost krošanja na navedenim prugama u istom stupnju - 2a (26 do 40 %).

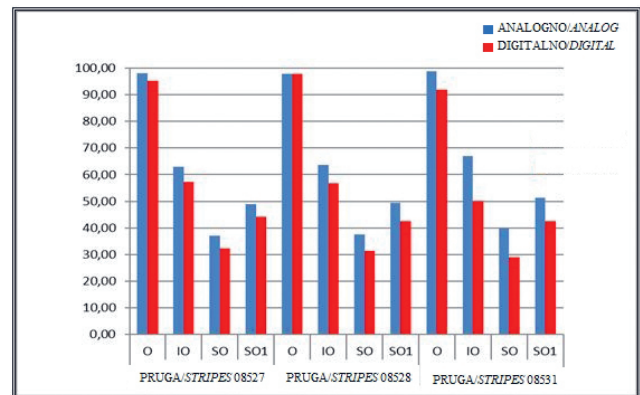
Kao i za snimke iz 1989. godine, raster točaka na DOF-u (100x100m) preklapljen je sa gospodarskom podjelom, pa se na taj način pristupilo izradi kartografskih prikaza prostornog rasporeda oštećenosti sastojina, te je kreirana baza podataka po pojedinim odjelima/odsjecima.

Na temelju dobivenih rezultata izrađene su tematske karte srednjih oštećenosti (Slika 8) za sve vrste zajedno.

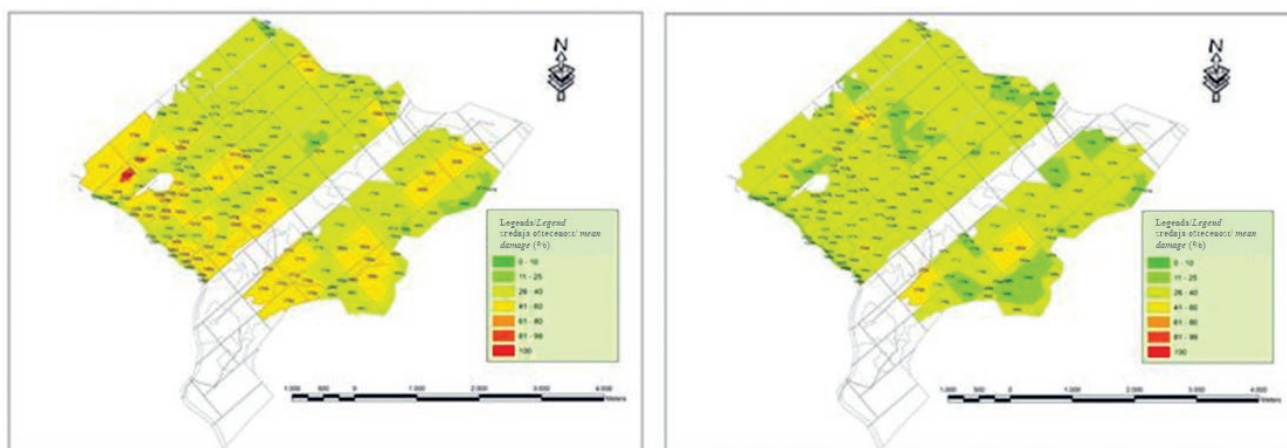
Rezultati statističke analize izračunatih pokazatelja oštećenosti na analognim i digitalnim snimkama iz dva perioda snimanja – Results of statistical analysis of calculated damage indicators on analog and digital images from two recording periods

Za sve pokazatelje oštećenosti, izračunatih na temelju interpretacije analognih i digitalnih snimaka iz 1989. godine, provedena je deskriptivna statistika. Rezultati deskriptivne statistike prikazani su u tablici 5 i na slici 9.

Iz tablice 5 i slike 9 vidljiv je raspon podataka za svaki izračunati pokazatelj oštećenosti (ukupno) na analognim (UO_A, UIO_A, USO_A, USO_{1A}) i digitalnim (UO_D, UIO_D, USO_D, USO_{1D}) snimkama. Naime, najmanju varijabilnost poda-

**Slika 7.** Pokazatelji oštećenosti ukupno po prugama snimanja (2008. godina) na analognim i digitalnim snimkama**Figure 7.** Damage indicators (total) by recording stripes (2008) on analog and digital images**Tablica 4.** Pokazatelji oštećenosti po prugama snimanja, za analogne i digitalne snimke (2008. godina)**Table 4.** Indicators of damage by stripes of recording for analog and digital images from 2008

Pruge snimanja/ Stripes of recording	Pokazatelji oštećenosti/ Indicators of damage (%)	ANALOGNO/ANALOG			DIGITALNO/DIGITAL		
		Vrsta drveća/ Tree species		UKUPNO/ TOTAL	Vrsta drveća/ Tree species		UKUPNO/ TOTAL
		HRAST/OAK	JASEN/ASH		HRAST/OAK	JASEN/ASH	
		%			%		
PRUGA/ Stripes 08527	O	98,70	97,06	98,18	96,48	91,62	95,15
	IO	66,46	55,74	63,06	57,11	57,94	57,34
	SO	39,58	31,74	37,09	31,42	34,51	32,26
	SO ₁	50,96	43,70	48,93	42,65	48,67	44,30
PRUGA/ Stripes 08528	O	98,86	95,97	97,97	97,62	98,29	97,74
	IO	67,14	55,84	63,65	55,18	64,29	56,86
	SO	40,70	30,59	37,57	31,25	32,06	31,40
	SO ₁	52,26	41,85	49,44	42,95	40,48	42,44
PRUGA/ Stripes 08531	O	99,63	96,88	98,74	95,52	76,44	91,90
	IO	72,08	56,05	66,92	52,27	32,00	50,19
	SO	44,49	30,33	39,93	30,35	21,18	29,02
	SO ₁	55,01	41,09	51,25	42,91	38,19	42,48



Slika 8. Prostorni raspored srednje oštećenosti za analogne snimke (lijevo) i digitalne snimke (desno) iz 2008. godine po odjelima/odsjecima
Figure 8. Spatial distribution of mean damage for analog images (left) and digital images (right) from 2008. by departments/sections

Tablica 5. Deskriptivna statistika za analizirane varijable dobivene interpretacijom analognih i digitalnih snimaka iz 1989. godine
Table 5. Descriptive statistics for analyzed variables obtained by interpretation of analog and digital images from 1989

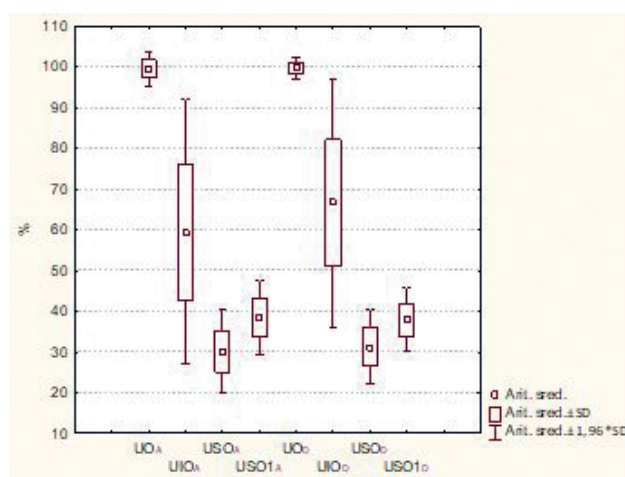
Varijable variables	Br. odj. / Num. of depart.	Proporcija opažanja/pr oportion of observations (%)	Aritmetička sredina/ mean	Medijan/ median	Minimum	Maximum	Varijanca /variance	Standardna devijacija/ standard deviation	Koeficijent varijacije/ coefficient of variation	Standardna pogreška/ standard error
UOA	104	99,04762	99,51317	100,00000	82,14000	100,00000	5,01889	2,24029	2,25125	0,21968
UIOA	104	99,04762	59,49808	60,00000	15,38000	100,00000	275,58782	16,60084	27,90147	1,62785
USOA	104	99,04762	30,17625	30,00000	19,81000	49,06000	26,65444	5,16279	17,10880	0,50625
USO1A	104	99,04762	38,54202	38,09000	32,50000	54,81000	21,55389	4,64262	12,04560	0,45525
UOD	104	99,04762	99,74615	100,00000	89,29000	100,00000	2,06208	1,43599	1,43965	0,14081
UIOD	104	99,04762	66,64875	68,03000	25,00000	100,00000	241,60784	15,54374	23,32188	1,52419
USOD	104	99,04762	31,21683	31,17000	21,25000	50,23000	21,68009	4,65619	14,91564	0,45658
USO1D	104	99,04762	37,93317	37,50000	32,50000	54,81000	16,07096	4,00886	10,56822	0,39310

taka ima pokazatelj oštećenost (UO_A , UO_D), dok najveće odstupanje od aritmetičke sredine ima pokazatelj indeks oštećenosti (UIO_A , UIO_D), što je bilo i za očekivati, budući da je to pokazatelj koji nam govori koliki je postotak stabala oštećen od 26 - 100%.

Na slici 10 je prikazana empirička distribucija srednje oštećenosti dobivene interpretacijom digitalnih i analognih snimaka iz 1989. godine, s malim pomakom krivulje u desno vezano uz digitalne (skenirane) snimke, tj. procjena srednje oštećenosti veća je nego na analognim (izvornim) snimkama.

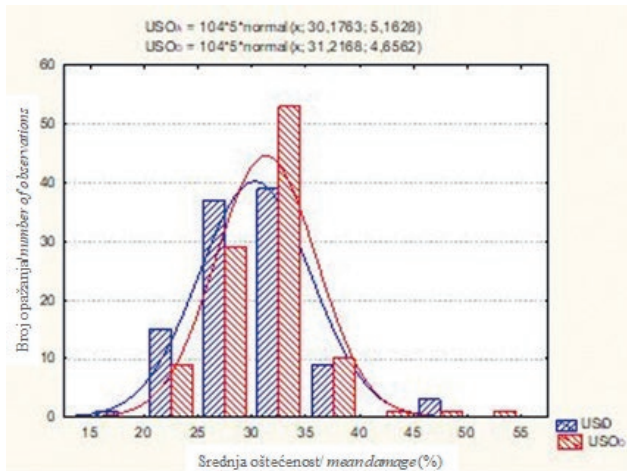
Da bi mogli utvrditi, postoji li signifikantna razlika između načina interpretacije analognih i digitalnih ICK aerosnimaka iz 1989. godine korišten je test parova. Ukupno su provedena četiri testiranja između izračunatih pokazatelja oštećenosti za analogne i digitalne snimke: oštećenost (test I), indeks oštećenosti (test II), srednja oštećenost (test III) i srednja oštećenost značajno oštećenih stabala (test IV). Rezultati testiranja prikazani su u tablici 6.

Rezultati testiranja za sva četiri provedena testa, pokazuju statistički značajnu razliku između testiranih varijabli na razini značajnosti od 5 %.



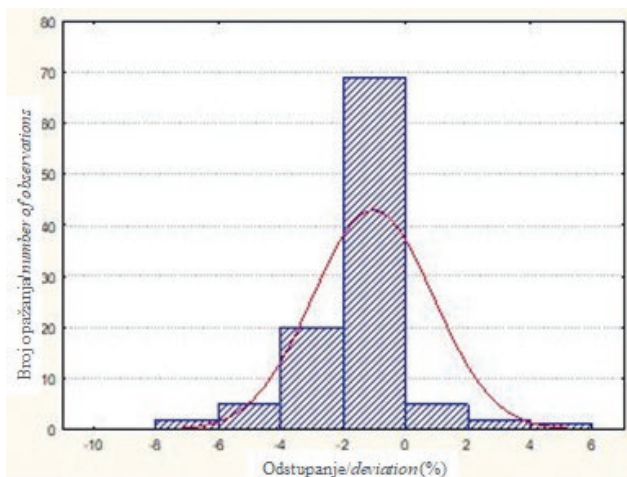
Slika 9. Box-Whisker grafički prikaz distribucije srednje oštećenosti za analizirane varijable (1989. godina)

Figure 9. Box-Whisker graphical representation of the distribution of mean damage for the analyzed variables (1989)



Slika 10. Grafički prikaz empiričke distribucije srednje oštećenosti dobivene interpretacijom analognih i digitalnih snimaka iz 1989. godine, kao i procjene pripadajućih normalnih distribucija istih

Figure 10. Graphic representation of the empirical distribution of the mean damage obtained by interpreting analog and digital images from 1989, as well as estimates of the corresponding normal distributions of the same



Slika 11. Histogram odstupanja srednjih oštećenosti procijenjenih na digitalnim i analognim aerosnimkama iz 1989. godine

Figure 11. Histogram of deviations of mean damages estimated on digital and analog aerial photographs from 1989

Distribucija odstupanja srednjih oštećenosti analognih i digitalnih vrijednosti vidljiva je iz histograma (Slika 11). Najviše odstupanja nalazi se u rasponu od -2 do 0 %.

Nakon provedene statistike za snimke iz 1989. godine, istovjetna analiza podataka provedena je i za snimke iz 2008. godine. Prema pokazateljima oštećenosti provedena je deskriptivna statistika, čiji su rezultati prikazani u tablici 7 i na slici 12.

Na temelju Box-Whisker grafičkog prikaza distribucije srednje oštećenosti (Slika 12) je vidljivo da najveću varijabilnost, kao i na snimkama iz 1989. godine, ima pokazatelj indeks oštećenosti (UIO_A , UIO_D).

Prikaz empiričke distribucije srednje oštećenosti dobivene na temelju digitalnih i analognih snimaka iz 2008. godine prikazan je na slici 13. Mali pomak krivulje u desno vezan je uz analogne snimke, odnosno procjena srednje oštećenosti je veća nego na digitalnim (izvornim) snimkama.

I za snimke iz 2008. godine bilo je potrebno utvrditi postoji li statistički značajna razlika između načina interpretacije analognih i digitalnih ICK aerosnimaka. Za tu svrhu je proveden test parova. Kao i za snimke iz 1989. godine, provedena su četiri testiranja između izračunatih pokazatelja oštećenosti, a rezultati testiranja prikazani su u tablici 8.

Rezultati testiranja za sva četiri provedena testa - oštećenost (test I), indeks oštećenosti (test II), srednja oštećenost (test III) i srednja oštećenost značajno oštećenih stabala (test IV), ukazuju da postoji statistički značajna razlika između pojedinih testiranih varijabli na razini značajnosti od 5%.

Iz histograma prikazanog na slici 14. je vidljiva distribucija odstupanja procijenjenih srednjih oštećenosti na analognim i digitalnim aerosnimkama. Najveći broj odstupanja nalazi se u rasponu od -10 do 0 %.

Provedenim testiranjem uvidjelo se da postoje statistički značajne razlike između dviju metoda interpretacije aerosnimaka. Navedene razlike nastale su zbog pretvaranja snimaka iz jednog oblika u drugi. Zbog mogućnosti usporedbe načina interpretacije (zrcalni stereoskop i digitalna fotogra-

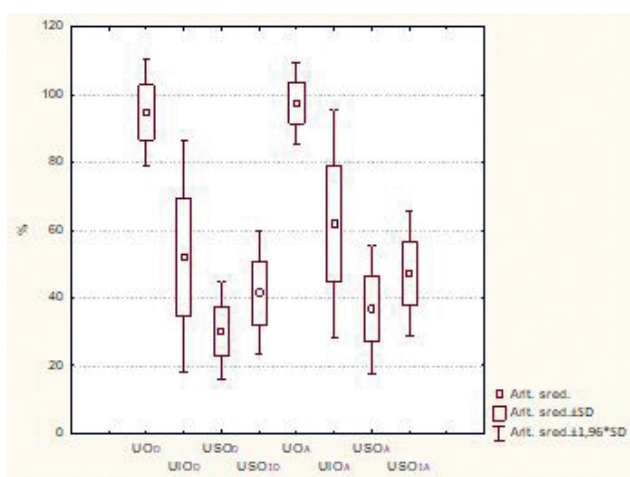
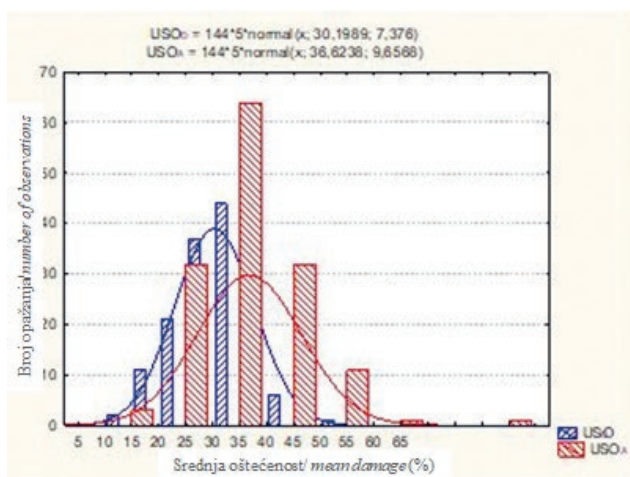
Tablica 6. Rezultati testa parova za pokazatelje oštećenosti (ukupno) – aerosnimke iz 1989. godine

Table 6. Results of the pair test for damage indicators (total) - aerial photographs from 1989

Test parova/ Pair test	Varijable variables	Aritmetička sredina/ mean	Standardna devijacija/ deviation	Br. odj. / Num. of depart.	Razlika aritm. sredina/differ. of arithm. means	Razlika stand. devijacija/differ. of deviations	t vrijednost /value	St. slobode degrees of freedom	p vrijednost /value
I	UO _A	99,51317	2,240288						
	UO _D	99,74615	1,435994	104	-0,232981	0,986200	-2,40919	103	0,017763
II	UIO _A	59,49808	16,60084						
	UIO _D	66,64875	15,54374	104	-7,15067	9,592611	-7,60198	103	<0,000001
III	USO _A	30,17625	5,162793						
	USO _D	31,21683	4,656189	104	-1,04058	1,933546	-5,48828	103	<0,000001
IV	USO _{1A}	38,54202	4,642617						
	USO _{1D}	37,93317	4,008860	104	0,608846	1,947230	3,188651	103	0,001894

Tablica 7. Deskriptivna statistika za analizirane varijable dobivene interpretacijom digitalnih i analognih snimaka iz 2008. godine**Table 7.** Descriptive statistics for the analyzed variables obtained by interpreting digital and analog images from 2008

Varijable variables	Br. obj. / Num. of depart.	Proporcija opažanja/ proportion of observations (%)	Aritmetička sredina/ mean	Medijan/ median	Minimum	Maximum	Varijanca /variance	Standardna devijacija/ standard deviation	Koeficijent varijacije/ coefficient of variation	Standardna pogreška/ standard error
UO _D	144	99,31034	94,76458	98,29500	50,00000	100,00000	65,76984	8,10986	8,55790	0,67582
UIO _D	144	99,31034	52,21278	53,35000	0,00000	91,67000	302,87838	17,40340	33,33169	1,45028
USO _D	144	99,31034	30,19889	30,16000	14,38000	58,75000	54,40589	7,37603	24,42485	0,61467
USO _{1D}	144	99,31034	41,43535	41,25000	0,00000	70,83000	85,38594	9,24045	22,30089	0,77004
UO _A	144	99,31034	97,58847	100,00000	50,00000	100,00000	36,78305	6,06490	6,21477	0,50541
UIO _A	144	99,31034	61,86771	63,00000	0,00000	100,00000	297,25854	17,24119	27,86783	1,43677
USO _A	144	99,31034	36,62382	36,25000	14,38000	82,50000	93,25348	9,65678	26,36750	0,80473
USO _{1A}	144	99,31034	47,16375	47,38500	0,00000	82,50000	87,32764	9,34493	19,81379	0,77874

**Slika 12.** Box-Whisker grafički prikaz distribucije srednje oštećenosti za analizirane varijable (2008. godina)**Figure 12.** Box-Whisker graphical representation of the distribution of mean damage for the analyzed variables (2008)**Slika 13.** Grafički prikaz empiričke distribucije srednje oštećenosti dobivene interpretacijom digitalnih i analognih snimaka iz 2008. godine, kao i procjene pripadajućih normalnih distribucija istih**Figure 13.** Graphic representation of the empirical distribution of mean damage obtained by interpreting digital and analog images from 2008, as well as estimates of the corresponding normal distributions of the same

metrijska stanica) izvorne analogne snimke su skeniranjem pretvarane u digitalni, a digitalne snimke u analogni oblik.

Statistički utvrđena signifikantna razlika nije značajna s gledišta procjene oštećenosti krošanja (sastojina), jer smo ranije prikazanim rezultatima (tablice 2 i 4) utvrdili da se srednje oštećenosti interpretacije analognih i digitalnih snimaka nalaze u istom stupnju oštećenosti (26-40%).

Zbog mogućnosti usporedbe metoda interpretacije, originalne analogne snimke iz 1989. godine su skeniranjem prevedene u digitalni oblik te digitalne snimke iz 2008. godine u analogni oblik. Skeniranjem su izrađene digitalne kontakt kopije istih dimenzija kao što su originalne analogne snimke, kako bi ih mogli interpretirati pomoću fotogrametrijske stanice, dok su pretvaranjem digitalnih snimaka u analogni oblik zapravo izrađene fotografije, kako bi ih mogli interpretirati pomoću zrcalnog stereoskopa.

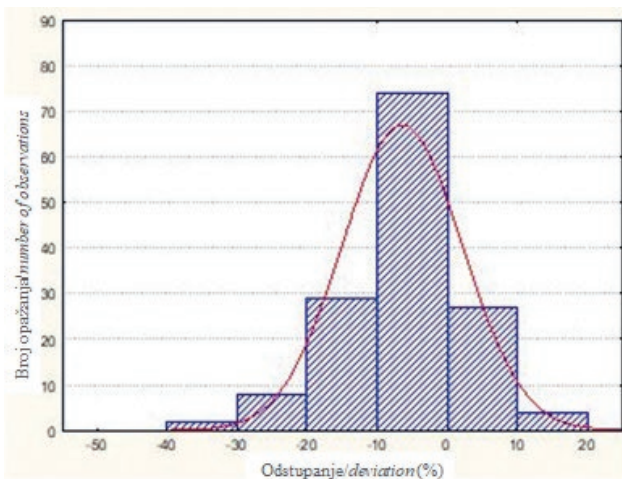
Za ukupno interpretirana 3992 stabla na snimkama iz 1989. godine ispitivanjem je utvrđeno da je procjena srednje oštećenosti veća na digitalnim (skeniranim) nego na analognim (izvornim) snimkama. Dobivene razlike su statistički značajne za razinu značajnosti od 5%. Na snimkama iz 2008. godine, za 5258 interpretiranih stabala, ispitivanjem je utvrđeno da je procjena srednje oštećenosti veća na analognim nego na digitalnim (izvornim) snimkama, te da postoji statistički značajna razlika na razini značajnosti od 5%.

Dobivene statistički značajne razlike u procjeni oštećenosti krošanja na analognim i digitalnim ICK aerosnimkama iz dva perioda snimanja, možemo pripisati provedenim postupcima pretvaranja snimaka iz jednog u drugi oblik (analognih u digitalni te digitalnih u analogni oblik).

Testiranjem se pokazalo da su razlike veće kod interpretacije digitalnih snimaka te njihovih izrađenih analognih kontakt kopija. Nešto su manje, ali utvrđene razlike u pretvaranju analognih snimaka u digitalni oblik. Time su potvrđene činjenice koje u istraživanjima navode Raši i Bucha 2001, te Ciesla 2009, a odnose se na gubitak kvalitete slike

Tablica 8. Test parova ukupnih pokazatelja oštećenosti dobivenih interpretacijom snimaka iz 2008. godine
Table 8. Test of pairs of total damage indicators obtained by interpreting images from 2008

Test parova/ Pair test	Varijable variables	Aritmetička sredina/ mean	Standardna devijacija/ deviation	Br. odj./ Num. of depart.	Razlika aritm. sredina/differ. of arithm. means	Razlika stand. devijacija/differ. of deviations	t vrijedn. /value	St. slob. degrees of freedom	p vrijed. /value
I	UOD	94,76458	8,109860						
	UOA	97,58847	6,064903	144	-2,82389	9,181933	-3,69058	143	0,000317
II	UIOD	52,21278	17,40340						
	UIOA	61,86771	17,24119	144	-9,65493	17,78477	-6,51452	143	<0,000001
III	USOD	30,19889	7,376035						
	USOA	36,62382	9,656784	144	-6,42493	8,588996	-8,97650	143	<0,000001
IV	USO1D	41,43535	9,240452						
	USO1A	47,16375	9,344926	144	-5,72840	9,911759	-6,93528	143	<0,000001



Slika 14. Histogram odstupanja srednjih oštećenosti krošanja procijenjenih na aerosnimkama iz 2008. godine

Figure 14. Histogram of deviations of mean crowns damage estimated on aerial photographs from 2008

i poteškoća kod fotointerpretacije. Naime, nestabilnost IC sloja te tehnološka nesavršenost izrade filmova i postupci razvijanja dovode do navedenih odstupanja u procjenama oštećenosti vezano uz izrađene kontakt kopije, zbog toga se na preporuča skeniranje starih snimaka i njihovo pretvaranje u digitalni oblik i obrnuto. No, dobivene razlike s gledišta procjene oštećenosti krošanja nisu značajne, budući da se interpretirana stabla procijenjena na analognim i digitalnim snimkama nalaze u istom stupnju oštećenosti.

ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Istraživanje procjene oštećenosti krošanja provedeno je na analognim i digitalnim snimkama iz dva perioda snimanja (1989. i 2008. godina) za područje GJ Josip Kozarac i GJ Opeke.

Usporedbom rezultata dobivenih interpretacijom analognih i digitalnih ICK aerosnimaka, utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike s obzirom na procjenu ošteće-

nosti krošanja, uz istu veličinu uzorka koje se mogu pripisati pretvaranju snimaka iz jednog oblika u drugi (analogne u digitalne i obrnuto).

Razlike su veće kod interpretacije digitalnih snimaka i njihovih analognih kontakt kopija, a nešto su manje kod pretvaranja analognih snimaka u digitalne.

Statistički utvrđena razlika nije značajna sa gledišta procjene oštećenosti krošanja (sastojina) u operativnoj primjeni, jer se rezultati interpretacije snimaka dobivenih za srednje oštećenosti krošanja nalaze u istoj kategoriji (stupnju) oštećenosti (26-40%).

LITERATURA REFERENCES

- Ančić, M., R. Pernar, F. B. Cindrić, A. Seletković, J. Kolić, 2019: Hiperspektralni senzori i primjena u šumarstvu, Nova mehanizacija šumarstva, 40 (1): 71-78.
- <https://doi.org/10.5552/nms.2019.7>
- Balenović, I., A. Seletković, R. Pernar, H. Marjanović, D. Vuletić, E. Paladinić, J. Kolić, M. Benko, 2011: Digital Photogrammetry – State of the Art and Potential for Application in Forest Management in Croatia. South-east European forestry, 2 (2): 81-93. <https://doi.org/10.15177/seefer.11-09>
- Balenović, I., A. Seletković, R. Pernar, A. Jazbec, 2015: Estimation of the mean tree height of forest stands by photogrammetric measurement using digital aerial images of high spatial resolution, Annals of Forest Research, 58(1): 125-143.
- Balenović, I., A. Šimić Milas, H. Marjanović, 2017: A Comparison of Stand-Level Volume Estimates from Image-Based Canopy Height Models of Different Spatial Resolutions. Remote Sensing, 9 (3): 205. <https://doi.org/10.3390/rs9030205>
- Bütler, R., R. Schlaepfer, 2004: Spruce snag quantification by coupling colour infrared aerial photos and a GIS, Forest Ecology and Management 195, 325–339.
- Ciesla, W. M., 2009: Remote sensing for forest damage assessment in the United States, Forest Health Technology Enterprise Team and Remote Sensing Applications Center.
- Dash, J.P., M.S. Watt, G.D. Pearse, M. Heaphy, H.S. Dungey, 2017: Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. ISPRS J Photo

- Remote Sens, 131, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007>
- Dubravac, T., S. Dekanić, V. Roth, 2011: Dinamika oštećenosti i struktura krošnja stabala hrasta lužnjaka u šumskim zajednicama na gredi i u nizi – rezultati motrenja na trajnim pokusnim plohama, Šumarski list, Posebni broj:74 – 89, Zagreb.
 - Eichhorn, J., P. Roskams, N. Potocic, V. Timermann, M. Ferretti, V. Mues, A. Szepesi, D. Durrant, I. Seletkovic, H.W. Schröck, Part IV, 2016: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents. In Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests; UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre, Thünen Institute of Forest Ecosystems: Eberswalde, Germany, p. 54.
 - Eigirdas, M., A. Augustaitis, G. Mozgeris, 2013: Predicting tree crown defoliation using color-infrared orthophoto maps. iForest 6: 23-29.
 - Ekstrand, S., 1994: Close range forest defoliation effects of traffic emission assessed using aerial photography, Science of The Total Environment, 147: 149–155.
 - Guerra-Hernández, J., R. A. Díaz-Varela, J. G. Álvarez-González, P. M. Rodríguez-González, 2021: Assessing a novel modelling approach with high resolution UAV imagery for monitoring health status in priority riparian forests. Forest Ecosystems, 8, 61. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00342-8>
 - Hočevar, M., D. Hladnik, 1988: Integralna fototerestrična inventura kot osno-va za smotno odločanje u gospodarenju z gozdom, Zbornik gozdarstva in lesarstva, št. 31: 93 -120.
 - Innes, J.L., B. Koch, 1998: Forest biodiversity and its assessment by remote sensing, Global Ecology and Biogeography Letters, 7 (6): 397–419.
 - Jazbec, A., 2008: Osnove statistike. Šumarski fakultet, 136 str., Zagreb.
 - Kalafadžić, Z., V. Kušan, Z. Horvatić, R. Fintić, B. Hrašovec, 1989: Određivanje stupnja oštećenosti šuma bukve i jele Zajednice općina Rijeka, ZIŠ, Šumarski fakultet, Zagreb, 87 str.
 - Kalafadžić, Z., V. Kušan, 1990: Ustanovljavanje stanja šuma na velikim površinama primjenom ICK aerosnimki, Glasnik za šumske pokuse, 26: 447 – 459.
 - Kalafadžić, Z., V. Kušan, Z. Horvatić, R. Pernar, 1993: Inventarizacije oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj primjenom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka, Glasnik za šumske pokuse - posebno izdanje, 4: 163-172, Zagreb.
 - Klobučar, D., R. Pernar, 2009: Umjetne neuronske mreže u procjeni sastojinskih obrasta s cikličkih snimaka, Šumarski list, 133 (3–4): 145–155, Zagreb.
 - Kolić, J., R. Pernar, A. Seletković, Ante, M. Ančić, 2015: The Importance of CIR Aerial Imagery in Inventory, Monitoring and Predicting Forest Condition, South-east European forestry, 6 (2): 191-200. <https://doi.org/10.15177/seefer.15-18>
 - Kolić, J., R. Pernar, A. Seletković, M. Ančić, 2018: Assessing tree damage in urban areas using remote sensing methods, U: Radojčić Redovniković, I., T. Jakovljević, V. Petrić Tominač, M. Panić, R. Stojaković, D. Erdec, K. Radošević, V. Gaurina Sarček, M. Cvjetko Bubalo (ur.), GREEN/3., Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, 1-5, Zagreb.
 - Kušan, V., 1996: Pristup daljinskim istraživanjima i GIS-u u hrvatskome šumarstvu, Šumarski list, 120(3-4):171-178, Zagreb.
 - Lehmann, J.R.K.; F. Nieberding, T. Prinz, C. Knoth, 2015: Analysis of unmanned aerial system-based CIR images in forestry - a new perspective to monitor pest infestation levels, Forests 2015, 6(12): 594–612. <https://doi.org/10.3390/f6030594>
 - Magnusson, M., J. E. S. Fransson, H. Olsson, 2007: Aerial photo-interpretation using Z/I DMC images for estimation of forest variables, Scandinavian Journal of Forest Research, 22 (3): 254–266, Knivsta, (Sweden).
 - Masumy, A. S., 1984: Interpretationsschlüssel zur Auswertung von Infrarot-farbluftbildern fuer die Waldschadens Inventur. Allgemeine Forstzeit-schrift, 27: 687 - 689.
 - Nelson, T., M. Wulder, K. O. Niemann, 2001: Spatial resolution implications of digitizing aerial photography for environmental applications, The Imaging Science Journal, 49, 223–232.
 - Pernar, R., 1994: Način i pouzdanost određivanja oštećenosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na infracrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama, Glasnik za šumske pokuse, 31:1– 34.
 - Pernar, R., 1997: Application of results of aerial photograph interpretation and geographical information system for planning in forestry, Glasnik za šumske pokuse, 34: 141–149, Zagreb.
 - Pernar, R., D. Klobučar, 2003: Estimating stand density and condition with use of picture histograms and visual interpretation of digital orthophotos, Glasnik za šumske pokuse, 40: 81–111, Zagreb.
 - Pernar, R., D. Šelendić, 2006: Prilog povećanju interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma. Glasnik za šumske pokuse, 5: 467–477, Zagreb.
 - Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, 2007a: Utvrđivanje oštećenosti šuma spačvanskog bazena primjenom infracrvenih kolornih aerosnimaka. Šumarski list, 131 (7–8): 315–332.
 - Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, 2007b: Primjena ICK aerosnimaka za utvrđivanje oštećenosti šuma na području UŠP Gospić. Šumarski list, 131 (11–12): 507–521.
 - Pernar, R., A. Seletković, M. Ančić, J. Sučić, 2011: Značajke prostorne distribucije sušaca u bukovo-jelovoj šumi, Croatian journal of forest engineering, 32 (1): 313-327.
 - Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, J. Kolić, 2020: Važnost daljinskih istraživanja pri procjeni šteta na šumskim sastojinama uzrokovanih velikim prirodnim nepogodama, U: Anić, I. (ur.), Gospodarenje šumama u uvjetima klimatskih promjena i prirodnih nepogoda, HAZU, 143-160 Zagreb. <https://doi.org/10.21857/y6z0lbrv0m>
 - Raši, R., T. Bucha, 2001: The evaluation of forest stands defoliation in the region of Water construction system Gabčikovo using aerial photos, Lesn. Čas. – Forestry Journal, 47(2): 165 – 177.
 - Safonova, A., S. Tabik, D. Alcaraz-Segura, A. Rubtsov, Y. Maglins, F. Herrera, 2019: Detection of fir trees (*Abies sibirica*) damaged by the bark beetle in unmanned aerial vehicle images with deep learning, Remote Sens, 11(6): 643. <https://doi.org/10.3390/rs11060643>
 - Seletković, A., R. Pernar, M. Ančić, J. Sučić, 2011: Procjena strukturnih elemenata sastojine na temelju vrijednosti spektralnog odbijanja IKONOS satelitske snimke, Croatian journal of forest engineering, 32 (1): 329-343.
 - Sokal, R. R., F. J. Rohlf, 1995: Biometry. Third edition, Freeman and Company, 880 str., New York.
 - Tikvić, I., D. Ugarković, J. Gašpar, 2011: Prostorna analiza odumiranja stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) za potrebe

adaptivnoga gospodarenja šumskim ekosustavima u Hrvatskoj // Croatian journal of forest engineering, 32 (1), 43-56.

- Ugarković, D., K. Pleša, 2017: Usporedba odumiranja stabala hrasta lužnjaka i poljskog jasena u odnosu na ekološku konstituciju vrsta, Šumarski list, 5-6, 227-236.
- Wulder, M. A., J. C. White, S. Coggins, S. M. Ortlepp, N. C. Coops, J. Heath, B. Mora, 2012: Digital high spatial resolution aerial imagery to support forest health monitoring: the mountain pine beetle context, Journal of Applied Remote Sensing 062527-1, Vol. 6.

SUMMARY

Efforts to mitigate negative consequences of massive forest dieback include the implementation of economic measures, monitoring the health status of individual trees i.e. assessment of crown damage. Apart from terrestrial methods, forest health is also determined with remote sensing methods, which involve interpretation of color infrared (CIR) aerial photographs.

The inventory of forest damage by using aerial photography is based on the establishment of the degree of damage to individual trees (crowns) using a well-designed photo interpretation key. Reliable statistical data of forest damage can be obtained on the basis of photo interpretation of CIR aerial photography.

Inventories of forest damage have so far been conducted with photo interpretation of analog aerial photographs on analytical stereo instruments. With the advancement of technology, analog images have been replaced by digital and analytical stereo instruments – by digital photogrammetric workstations, and interpretation is done on the computer screen.

The main goal of the research was to compare the results of crown damage assessment on analog and digital ICK aerial photographs of the same area, which is why it was necessary to convert aerial photographs from 1989 by scanning into digital form, and convert digital images from 2008 into analog form.

Analog and digital aerial photographs from two recording periods (1989 and 2008) were interpreted for a part of the management units Josip Kozarac and Opeke. At each point of a 100x100 m grid, 4 nearest trees (crowns) were estimated and damage indicators (damage-O, mean damage-SO, damage index-IO, mean damage₁-SO₁) were calculated for individual tree species, for all the interpreted species together, per surveying strips, and for the total research area.

On the basis of calculated damage indicators obtained by interpreting analog and digital images from 1989 and 2008, it was found that there was no statistically significant difference between the results in terms of tree health assessment.

The conducted research improved the existing methods of assessing the health status of individual trees and stands, and pointed out the possibilities of applying digital CIR aerial photographs in forestry.

KEY WORDS: crown damage assessment, visual interpretation, analog CIR aerial photographs, digital CIR aerial photographs, mirror stereoscope, digital photogrammetric workstation