

PROCJENA OŠTEĆENOSTI STABALA OBIČNE BUKVE (*FAGUS SYLVATICA* L) DIGITALNOM OBRADOM INFRACRVENIH KOLORNIH AEROSNIMAKA*

ASSESSMENT OF BEACH TREES (*FAGUS SYLVATICA* L) DAMAGE USING DIGITAL INTERPRETATION OF COLOUR INFRARED AERIAL PHOTOGRAPHS

Christian GALLO**

SAŽETAK: Oštećenost stabala danas se uobičajeno procjenjuje metodama fotointerpretacije. Aerosnimke mogu se skeniranjem prevesti u digitalni oblik. Kako su osnovne sastavnice boje (crvena, zelena i plava - RGB) u čvrstoj korelaciji sa stupnjem oštećenosti stabla, postupak procjene oštećenosti pojedinačnih stabala može se na skeniranim aerosnimkama automatizirati. Istraživanje je provedeno na 72 stabla bukve na infracrvenim kolornim aerosnimkama (ICK) nacionalnih parkova Plitvička jezera i Risnjak te gospodarske jedinice Brloško. Pri tome su 54 stabla poslužila za regresijsku analizu, a 18 stabala za testiranje izrađenog regresijskog modela za procjenu oštećenosti bukovih krošanja na temelju osnovnih sastavnica boje (RGB). Prosječna točnost procjene iznosila je 27,8 % ukoliko se procijenjena stabla razvrstaju u šest stupnjeva oštećenosti, odnosno 56,9 %, ukoliko se procijenjena stabla razvrstaju u četiri stupnja oštećenosti.

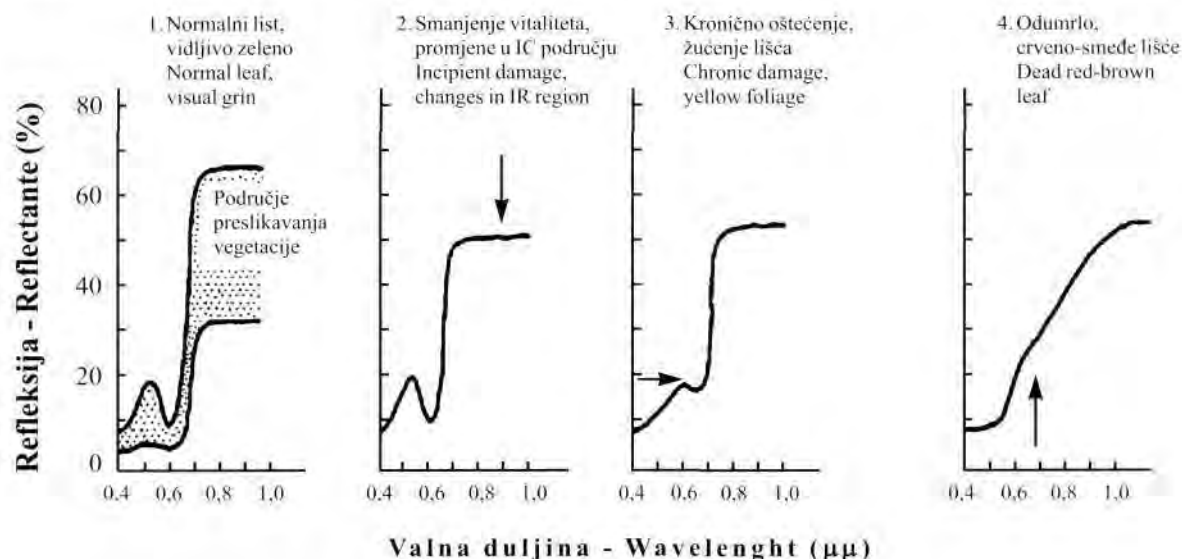
UVOD – Introduction

Danas se bez sumnje može reći da je opstanak šuma ugrožen u svjetskim razmjerima. U siromašnim zemljama u razvoju, šume nestaju zbog prekomjerne eksploatacije te krčenja i pretvaranja šuma u druge kulture, a u bogatim, razvijenim zemljama glavni uzrok su onečišćenja okoliša uvjetovana razvojem industrijske proizvodnje. U Hrvatskoj sušenje šuma također poprima sve veće razmjere. Sjetimo se šuma hrasta lužnjaka, naše najvažnije gospodarske vrste, koje se suše, nadalje nizinskog brijesta kojeg u našim šumama gotovo više i ne možemo naći, jele koja nam svojom osjetljivošću dokazuje količinu polutanata. U ovom se radu govori o bukvi, našoj najraširenijoj šumskoj vrsti, koju sve ovo nije zaobišlo.

Činjenice ukazuju da smo se opasno poigrali s prirodom, pa je naš primarni zadatak provođenje intenzivnih istraživanja, kako bi se pojava sušenja proučila, kontrolirala i ako je moguće spriječila. Istraživanja se provode u smjeru inventarizacije oštećenosti šuma i njezinog prostornog rasporeda. To je moguće provesti terestričkim opažanjima ili primjenom metoda daljinskih istraživanja. Od metoda daljinskih istraživanja osobito je pogodna interpretacija infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka. Inventarizacija oštećenosti šuma pomoću ICK aerosnimaka osniva se na ustanovljavanju stupnja oštećenosti pojedinačnih stabala koja se vide na aerosnimkama. Osim različito izraženih znakova oštećenosti s obzirom na teksturu, a ovisno o vrsti drveća, oštećene krošnje pokazuju i promjene u spektralnoj refleksiji elektromagnetskih valova, kako u vidljivom, tako i u nevidljivom dijelu spektra. To dovodi do promjene karakterističnog preslikavanja zdrave vegetacije na aerosnimkama (slika 1).

* Ovaj rad nagrađen je Rektorovom nagradom za 1997. godinu

** Christian Gallo, student četvrte godine, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb



Slika 1. Promjene spektralne refleksije uslijed fizioloških promjena kod biljaka
 Fig. 1. Changes in spectral reflectance caused by physiological damages of plants

Refleksija (difuzna refleksija i zračna refleksija) infracrvenih zraka tumači se anatomskom i morfološkom građom asimilacijskih organa, te morfološkim obilježjima krošnja i sastojina. U području spužvastog parenhima listova bjelogoričnih vrsta drveća dolazi do višestrukog loma i totalne refleksije infracrvenih zraka na stjenkama stanica i u intercelularnim prostorima, što uvjetuje njihovu jaku difuznu refleksiju ili remisiju. Pojavom promjena u građi lista, pokazuje se gotovo istovremeno izrazitije smanjenje remisije u infracrvenom području. Oštećenjima se smanjuje turgor, što dovodi do splašnjavanja spužvastog parenhima nestankom intercelularnih prostora, te do povećanja koncentracije

biljnog soka, tako da u listu više ne dolazi do višestrukog loma i totalne refleksije infracrvenih zraka (Cvek, 1985).

Na zračnu refleksiju velik utjecaj imaju krošnje, kao nakupine slojeva lišća, koje djeluju na pojačavanje refleksije infracrvenih zraka, a ne utječu na remisiju vidljivog dijela spektra. Starost stabala ne utječe na remisiju, ali utječe na refleksiju utoliko što manje više nepravilna, nejednolična struktura starih krošnja izaziva jaču apsorpciju svjetla od krošnja mladih stabala, pa se zato redovito starije sastojine ili stabla, tamnije preslikaju od mladih sastojina ili stabala.

Boje objekata u prirodi - Colours of natural objects

PLAVA (Blue)	ZELENA (Green)	CRVENA (Red)	INFRACRVENA (Near InfraRed)
--------------	----------------	--------------	-----------------------------

žuti filter - yellow filter

Senzibilizirano za - Sensitive on:

- bliže IC (NIR)
- zeleno (G)
- crveno (R)

PREOBRATNI POSTUPAK - REVERSAL DEVELOPMENT PROCESS

Stvorena boja - Developed colour

- plavo - zelena (cyan)
- žuta (yellow)
- ljubičasta (magenta)

Vidi se na snimci - Visible on picture:

PLAVO (BLUE)	ZELENO (GREEN)	CRVENO (RED)
--------------	----------------	--------------

Slika 2. Preobratni postupak za infracrveni kolor film Kodak Aerochrome Infrared 2443
 Fig. 2. Reverse processing of colour infrared (CIR) film Kodak Aerochrome Infrared 2443

Razlike u refleksiji zbog različitih vrsta drveća i zbog stupnja oštećenosti, a time i razlike u načinu preslikavanja, veće su u infracrvenom dijelu spektra nego u vidljivom području. Zbog toga su metode daljinskih istraživanja, koje se služe IC zračenjem, učinkovitije od metoda koje se služe samo vidljivim dijelom spektra. Te prednosti infracrvenog zračenja dobro su iskorištene kod ICK filma, jer čovjek može bolje i više razlikovati promjene u boji nego promjene u crnobijelom području. ICK film se na tržištu najčešće pojavljuje kao preobratni film, kojim se dobivaju dijapozitivi, a jedan od najpoznatijih je Kodak Aerochrome 2443. Njegova građa i način djelovanja prikazani su na slici 2.

On se sastoji od tri, na svjetlo osjetljiva sloja: plavog koji je senzibiliziran za zelenu boju, zelenog koji je senzibiliziran za crvenu boju i crvenog koji je senzibiliziran za bliže IC zračenje.

Zelena obojeni neživi objekti preslikaju se na ovom filmu plavo, crveni objekti zeleno, a objekti koji intenzivno zrače infracrveno, kao npr. živa, zelena, zdrava vegetacija preslikaju se crveno. Time je preslikana prirodna scena obojena u neprirodnim, lažnim bojama, pa se ICK snimke nazivaju i "pseudokolor" (*falškolor*) snimke.

Preobratnim postupkom razvijanja stvaraju se slojevi boja, koji su komplementarni osnovnim bojama, u smislu suptraktivnog mješanja boja: plavo - žuto, zeleno - magenta (purpur), crveno - cijan (plavozeleno). Gustoća tih slojeva obrnuto je proporcionalna količini svjetla koja je došla do filma kao posljedica refleksije Sunčeva zračenja od objekata u prirodi.

CILJ RADA – Aim of Work

Informacije se iz aerosnimaka mogu dobiti uobičajenim načinima fotointerpretacije, a u novije vrijeme i na temelju digitalne obrade aerosnimaka (Mansberger, 1992).

Glavni cilj ovog rada bio je iznalaženje kvalitetnog i pouzdanog načina digitalne interpretacije krošanja obične bukve kao pomoći pri određivanju stupnja ošteće-

Formiranje lažnih boja nastaje na ovaj način: kompletna prirodna scena reflektira plavu, zelenu, crvenu i IC komponentu Sunčeva spektra. Prije dolaska do filma plava komponenta se reže odgovarajućim filterom. Kod preobratnog postupka razvijanja za zeleni objekt se na sloju osjetljivom na zeleno svjetlo stvorila čista (prozirna) slika bez boje. Na sloj osjetljiv na crveno zeleno svjetlo ne djeluje, te se ondje razvijanjem formira gust magenta sloj. Također zeleno ne djeluje na IC sloj pa se na njemu stvori cijan sloj. Tako stvoreni slojevi djeluju kao filteri za suptraktivno miješanje boja. Promatranjem dijapozitiva u bijelom prolaznom svjetlu cijan zadržava crveno, a magenta zeleno, te kroz prozirni sloj prolazi samo plavo svjetlo. Zeleni objekti se preslikaju plavo.

Crveni objekt formira na sloju osjetljivom na crveno prozirniju sliku. Na sloj osjetljiv na zeleno, crveno ne djeluje i formira se sloj obojen žuto, a na sloju osjetljivom na IC cijan. Žuti sloj sadržava plavo svjetlo, a cijan crveno, te se crveni objekt preslika zeleno.

Objekti koji zrače IC zrake stvaraju na IC sloju prozirniju sliku, na zelenom žuti sloj, a na crvenom magentu. Žuti sloj sadržava plavo svjetlo, a magenta zeleno, pa kroz prozirni dio filma prolazi crveno svjetlo. Tako se objekti koji zrače IC zrake preslikaju crveno.

Iz toga proizlazi da se vegetacija, zbog intenzivne IC refleksije na ICK filmu preslikava crveno. Smanjenjem IC zračenja boja preslikavanja vegetacije dobiva određenu plavu komponentu. Kako intenzitet IC zračenja pada promjenom zdravstvenog stanja stabla, tj. slabljenjem njegove fiziološke kondicije, to se pomak prema plavom smatra znakom smanjenja kondicije stabla.

nosti na skeniranim infracrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama. Za to bi bilo potrebno izračunati regresijske modele pomoću kojih se na izravan način može procijeniti zavisna varijabla (Kušan i Pernar, 1996), u ovom slučaju stupanj oštećenosti stabla, poznavajući vrijednosti osnovnih sastavnica boja (RGB komponente; *engl. red* - crveno, *green* - zeleno, *blue* -plavo).

METODE RADA – Methods of Work

Zavod za istraživanja u šumarstvu Šumarskog fakulteta u Zagrebu (Katedra za geodeziju) proveo je na području jugozapadne Hrvatske inventarizaciju oštećenosti šuma bukve i jele primjenom metoda daljinskih istraživanja i to interpretacijom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimki. Aerosnimanje je izvršeno od 1. do 10. kolovoza 1988. Inventarizacija oštećenosti šuma provedena je na oko 400 000 ha šumskih površina na području bivše Zajednice općina Rijeka. Za inventarizaciju je prihvaćena metoda uzoraka u obliku klastera, slična

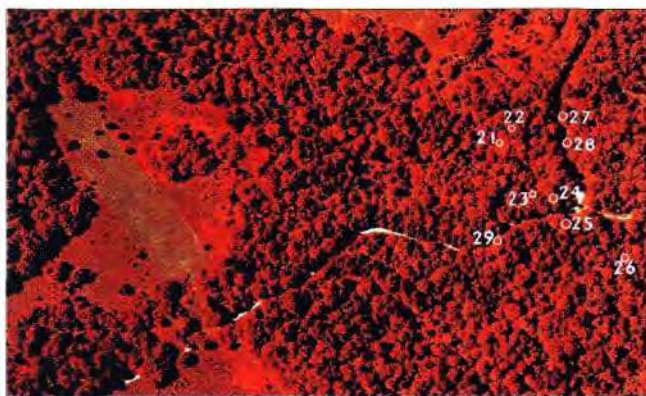
metodologiji predloženoj za područje Europske zajednice (Kalađžić i Kušan 1990). Dizajniranje metode izvršeno je na osnovi prethodnih istraživanja provedenih na aerosnimkama Plitvičkih jezera, gdje su uvjeti slični kao i na inventariziranom području. Pouzdanost interpretacije testirana je s tri nezavisna interpretatora. Ustanovljeno je da između terenske procjene oštećenosti stabala i procjene oštećenosti na ICK aerosnimkama nema značajne razlike bez obzira koliko stručnjaka interpretira aerosnimke (Kalađžić i dr. 1991).

Aerosnimanje je izvršeno u 12 primjernih pruga ukupne dužine 296 km, koje su se protezale u smjeru sjever-jug. Razmak između sredina pruga iznosio je 8 km. Na području Velebita razmak je neznatno smanjen da bi uzorak bolje prekrpio teren. Na svakom drugom kilometru snimljene pruge postavljena je skupina (klaster) od šest primjernih točaka, na kojima je interpretirano po 20 krošanja s obzirom na vrstu drveća (jela -*Abies alba* Mill., smreka -*Picea abies* L., bukva -*Fagus sylvatica* L.) i stupanj oštećenosti. Položaj primjernih točaka prenešen je na aerosnimku iz topografske karte (1 : 5 000 ili 1 : 25 000) na osnovi provedene radijalne triangulacije. Ukupno je postavljeno 790 primjernih točaka i interpretirano 15 860 krošnji (Kalafadžić i dr. 1993).

Aerosnimanje je izvršeno normalnokutnom mjernom fotogrametrijskom kamerom LMK 305/23 Zeiss Jena, ICK filmom Kodak Aerochrome infrared 2443. Snimljeno je ukupno 595 aerosnimki prosječnog mjerila 1 : 5 800, s uobičajenim uzdužnim preklopom 60%. Snimljena površina pruga iznosila je oko 39 400 ha tj. oko 11% površine inventarizacije.

Oštećenost pojedinačnih stabala (krošanja) definirana je jedinstvenim stupnjem oštećenosti, na osnovi terestrički procijenjenog postotka osipanja i žućenja asimilacijskih organa (iglica i lišća), te postotka odumiranja krošnje, a sve u odnosu na posve neoštećenu krošnju (K u š a n i dr. 1991). Skala stupnjeva oštećenosti koja je primijenjena u Europskoj zajednici (AFL, 1988) proširena je dijeljenjem stupnja oštećenosti 2 na dva podstupnja 2a i 2b i stupnja 3 na podstupnjeve 3a i 3b, na osnovi istraživanja prirasta različito oštećenih stabala.

Terestrički uočljivi simptomi oštećenosti, gubitak i žućenje asimilacijskih organa, te odumiranja krošnje, dovode do promjene u refleksiji sunčevog spektra elektromagnetskih valova, osobito u bližem infracrvenom dijelu. To uvjetuje diferencirano preslikavanje na ICK snimkama i izobraženi fotointerpretator može na osnovi ICK aerosnimki zaključivati o stupnju oštećenosti preslikanih stabala (krošanja), odnosno sastojina. Pre-



Slika 3. ICK aerosnimka s područja Plitvičkih jezera
Fig. 3. CIR aerial photograph of Plitvička jezera region

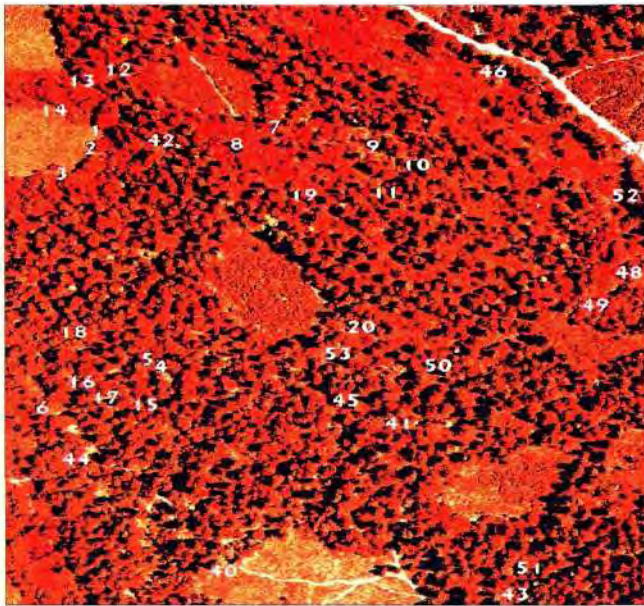
duvjet za to je pažljivo izrađen fotointerpretacijski ključ za pojedine vrste drveća i stupnjeve oštećenosti s načinom njihova preslikavanja na aerosnimkama (Pernar, 1993).

Za ovaj rad korištene su tri snimke: po jedna iz NP Plitvička jezera, NP Risnjak i šumarije Fužine (gospodarska jedinica Brloško). Te tri snimke bile su mi dostupne u digitalnom obliku. Fotografija se u digitalni oblik pretvara skeniranjem. To je postupak pri kojem se snimka koja se skenira dijeli na, po volji, male kvadratiće (piksle). Skenner za svaki kvadratić očitava vrijednosti osnovnih sastavnica boje (RGB) i bilježi ih u obliku binarnih brojeva (0-255) na magnetni medij. To znači da je svaka sastavnica boje podijeljena na 256 nijansi, pri čemu 0 predstavlja odsutnost boje u toj nijansi, a 255 predstavlja najveću gustoću boje u toj nijansi. Snimke koje su skenirane bile su različite kvalitete, odnosno različitih boja. Stoga je za snimke nakon skeniranja trebalo izjednačiti količinu osvjetljenja i zasićenje pojedine osnovne boje (RGB) koji nam zajedno daju sliku pojedinog stupnja oštećenosti. Sve je to učinjeno sa svrhom dobivanja što preciznijih rezultata (u protivnom se moglo dogoditi da jednaka nijansa na različitim snimkama koje su skenirane predstavlja različite stupnjeve oštećenosti).

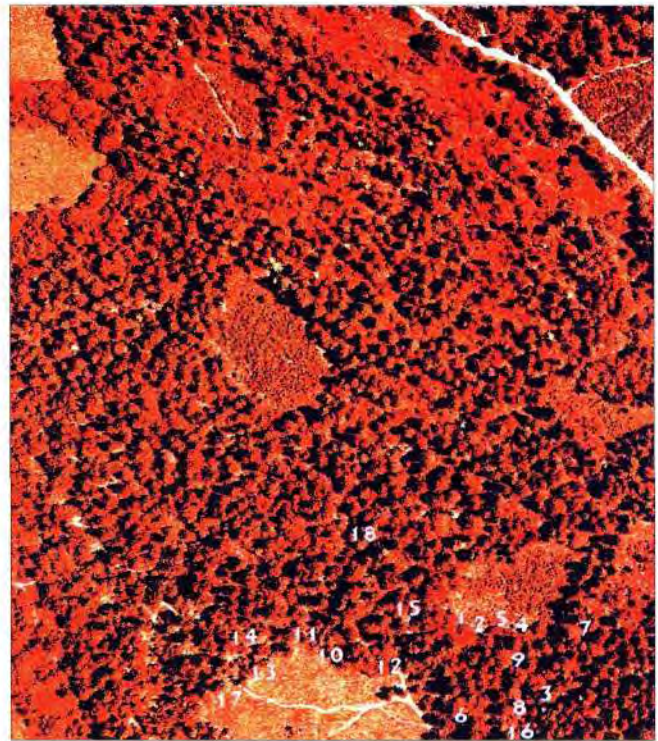
Zatim su na svakoj skeniranoj snimci obilježena stabla za koja je iz terestričkih proučavanja poznat stupanj oštećenosti. Na snimci NP Plitvička jezera obilježeno je 9 stabala (slika 3), NP Risnjak 10 stabala (slika 4) i na snimci gospodarske jedinice Brloško 34 stabla (slika 5), dakle sveukupno 53 stabla. Sa snimke gospodarske jedinice Brloško uzeto je mnogo više stabala, za razliku od snimaka Plitvičkih jezera i Risnjaka gdje je bukva zdrava ili neznatno oštećena.



Slika 4. ICK aerosnimka s područja Risnjaka
Fig. 4. CIR aerial photograph of Risnjak region



Slika 5. ICK aerosnimka iz gospodarske jedinice Brložko
Fig. 5. CIR aerial photograph of management unit Brložko



Slika 6. ICK aerosnimka iz g. j. Brložko s obilježenim stablima na kojima je provedeno testiranje
Fig. 6. CIR aerial photograph of management unit Brložko with marked trees used for testing

Na svakoj krošnji stabla obilježen je kvadrat veličine 100 (10 x 10) piksela koji je razdjeljen na četiri manja od 25 (5 x 5) piksela. Sa svakog od tih kvadrata očitana je aritmetička sredina vrijednosti osnovnih sastavnica boje (RGB).

Svih tih 212 (53 x 4) podataka korišteno je u izradi regresijskih modela. Regresijska analiza obavljena je pomoću programa STATISTICA 4.5. Rezultati statisti-

čke analize testirani su na snimci gospodarske jedinice Brložko, na kojoj su odabrana po tri stabla u svakom stupnju oštećenosti (slika 6).

REZULTATI – Results

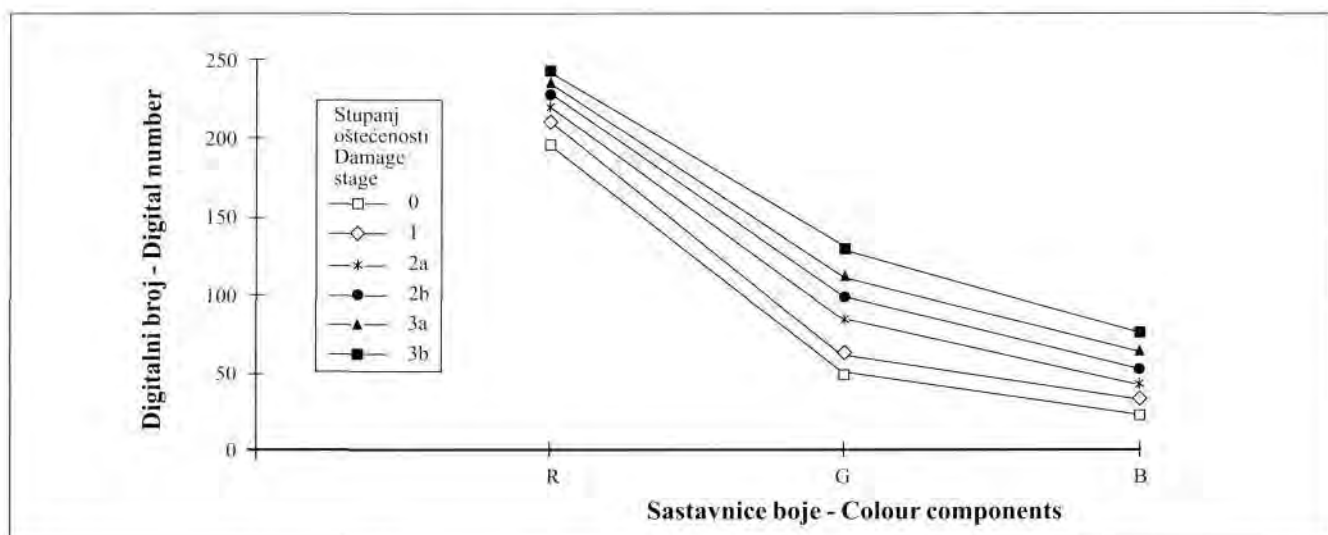
Očitane vrijednosti osnovnih sastavnica boja svih uzoraka razvrstane su prema stupnjevima oštećenosti i za njih su izračunate osnovne statističke veličine (tablica 1, slika 7). Iz podataka u tablici 1 i slici 7 može se uočiti da se vrijednosti digitalnih brojeva pojedine sastavnice povećavaju s povećanjem stupnja oštećenosti

stabala. Promjena digitalnih brojeva u odnosu na stupnjeve oštećenosti pokazuje pravilnost, što ukazuje da bi veza između sastavnica boje i stupnjeva oštećenosti mogla biti čvrsta (Pranjić, 1990). To je dokazano korelacijskom analizom (tablica 2).

Statističke veličine RGB sastavnica boje prema stupnjevima oštećenosti -
Statistical values of RGB components of damage stages

Tablica - Table 1

n=212 Stupanj oštećenosti - stage of damage	R		G		B	
	aritmetička sredina - arithmetic mean	standardna devijacija - standard deviation	aritmetička sredina - arithmetic mean	standardna devijacija - standard deviation	aritmetička sredina - arithmetic mean	standardna devijacija - standard deviation
0	197,39	19,86	50,41	13,69	23,95	5,82
1	217,45	21,21	59,98	14,20	29,95	7,52
2a	228,38	16,62	83,65	19,99	44,85	13,30
2b	231,50	20,14	98,63	13,97	51,84	12,96
3a	234,42	13,34	110,86	13,75	63,25	12,96
3b	238,05	15,16	128,80	17,15	75,55	15,19



Slika 7. Dijagram odnosa između osnovnih sastavnica boje i stupnja oštećenosti bukovih krošnja
 Fig. 7. Diagram of relationships among colour components and damage stages of beech crowns
 Korelacijski koeficijenti između sastavnica boje i stupnja oštećenosti (SO)
 Correlation coefficients between colour components and damage stage (SO)

Tablica - Table 2

	R	G	B	SO
R	1			
G	0,686785	1		
B	0,618871	0,927683	1	
SO	0,567315	0,858499	0,831941	1

Iz podataka u tablici 2 vidljivo je da je veza između stupnja oštećenosti i crvene boje čvrsta ($R=0,567$), a između stupnja oštećenosti i zelene boje veza je vrlo čvrsta ($R = 0,858$). Jednako tako je veza vrlo čvrsta između stupnja oštećenosti i plave boje ($R = 0,832$). Korelacijska veza između pojedinih sastavnica boje je također vrlo čvrsta (R se kreće od 0,69 do 0,93). Kakav je odnos pojedine sastavnice boje i stupnja oštećenosti može se vidjeti iz scatter dijagrama (slika 8).

Iz scatter dijagrama na slici 8 može se uočiti da je raspršenost podataka takva da se za procjenu stupnja oštećenosti na temelju osnovnih sastavnica boje može najbolje primijeniti regresijska analiza (Hadživuković, 1984). Na temelju položaja elipsa vjerojatnosti u sva tri dijagrama može se zaključiti da bi se na temelju osnovnih sastavnica boje jasno moglo razlikovati:

- stupanj 0 od stupnja 2b, 3a, 3b
- stupanj 1 od stupnja 2b, 3a, 3b
- stupanj 2a od stupnja 3b
- stupanj 2b od stupnja 0, 1, 3b
- stupanj 3a od stupnja 0, 1
- stupanj 3b od stupnja 0, 1, 2a, 2b

Regresijska analiza provedena je pomoću multiple regresije. Rezultati analize su prikazani u tablicama 3 i 4.

Rezultati multiple regresije za procjenu stupnja oštećenosti krošnja bukve na ICK aerosnimkama na temelju sastavnica boje (R, G, B)

Results of multiple regression for predicting damage stage of beech crowns on CIR aerial photographs using colour components (R, G, B)

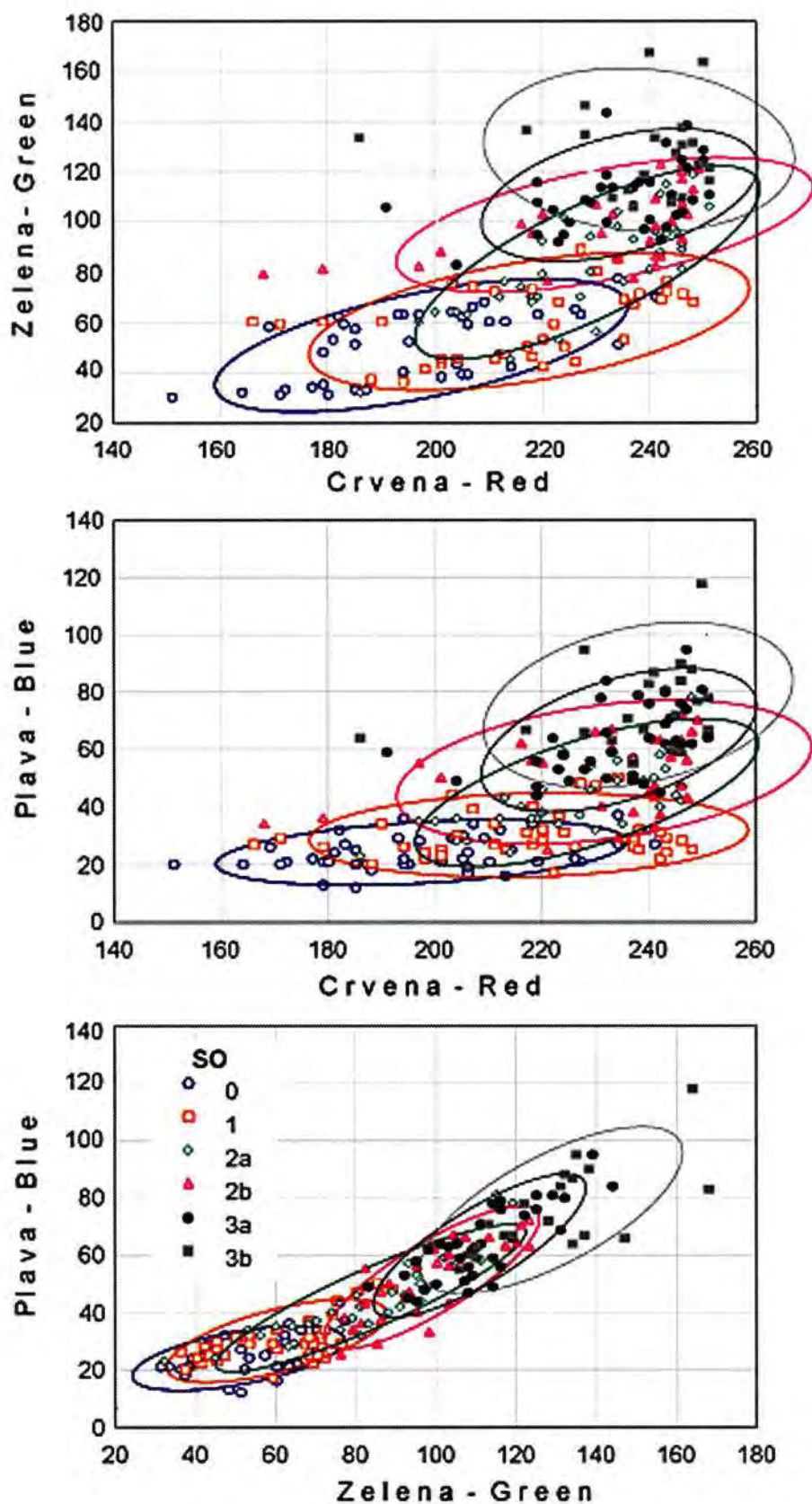
Tablica - Table 3

Multipli R	0.86409840
R2	0.74666605
F (3,208)	204.35
Standardana pogreška proc. Standard errors of estimates	0.83019
p<	0.0000

Vrijednost koeficijenata i njihove statističke veličine
 Regression coefficients and their statistical values

Tablica - Table 4

N=212	Koeficijenti Coefficients	Standardna pogreška koeficijenata Standard error of coefficients	t (208)	p-level
b_0	-0,118516	0,635975	-0,186352	0,852350
b_1 (R)	-0,002394	0,003434	-0,696975	0,486597
b_2 (G)	0,034936	0,005448	60,412490	0,000000
b_3 (B)	0,020231	0,007568	20,673340	0,008106



Slika 8. Scatter dijagrami odnosa stupnjeva oštećenosti bukovih krošanja prema pojedinim kombinacijama osnovnih sastavnica boje
 Fig. 8. Scatter diagrams of relationships of the damage stages of beech crowns and different combinations of colour components

Rezultati analize varijance (tablica 3) pokazuju da je provedena multiple regresija statistički značajna ($F = 204,35$) na razini od $p = 0,0000$. Izračunati koeficijent za zelenu i plavu boju su statistički značajni. Na temelju tih podataka može se zaključiti da se stupanj oštećenosti pojedinog stabla može procijeniti na temelju sastavnica boje s koeficijentom determinacije (R^2) 0,747 i sa standardnom pogreškom procjene 0,83. Takva se procjena može obaviti pomoću linearne jednadžbe:

$$SO = -0,118516 - 0,002394R + 0,034936G + 0,020231B$$

Pomoću izrađene jednadžbe procijenjena je oštećenost 18 stabala odabranih za testiranje rezultata (u svakom stupnju oštećenosti po tri stabla). Očitavanje osnovnih sastavnica boje za odabrana stabla provedeno je jednako kao i za stabla na temelju kojih je provedena regresijska analiza. Ocjena stupnja oštećenosti pojedinih

stabla obavljena je vizualnom interpretacijom na aerosnimci. Rezultati usporedbe prikazani su u tablici 5. Iz podataka u tablici 5 je vidljivo da je sveukupna točnost procjene oštećenosti svega 27,78%. Najmanja točnost postignuta je pri procjeni stupnja 2a (8,33%), a najveća pri procjeni stupnja 2b (58,33%). Takvi rezultati ukazuju na to da se procjena oštećenosti stabala bukve na temelju osnovnih sastavnica boje na ICK snimkama ne bi mogla provoditi ukoliko bi se stabla svrstavala u šest stupnja oštećenosti. Svrstavanjem stabala u četiri stupnja oštećenosti (0, 1, 2, 3) točnost procjene se povećava (tablica 6).

Na temelju podataka iz tablice 6 vidljivo je da je sveukupna točnost procjene na četiri stupnja oštećenosti 57%. Pri tome su stupnjevi 2 i 3 procijenjeni s razmjerno zadovoljavajućom točnošću (70,83%), dok je procjena za stupnjeve 0 i 1 nezadovoljavajuća (16,67% i 41,67%).

Matrica točnosti razvrstavanja stabala u šest stupnjeva oštećenosti
Contingency matrix of predicted values classified in six damage stages

Tablica - Table 5

Opažano na aerosnimci Observed on aerphoto	Procijenjeno pomoću regresijskog modela - Predicted using regression model						Točnost procjene Correctly predicted (%)
	0	1	2a	2b	3a	3b	
0	2	9	1				16,67
1		5	5	2			41,67
2a		1	1	8	2		8,33
2b			1	7	4		58,33
3a				2	3	7	25,00
3b				5	5	2	16,67
Ukupno - Total							27,78

Matrica točnosti razvrstavanja stabala u četiri stupnja oštećenosti
Contingency matrix of predicted values classified in four damage stages

Tablica - Table 6

Opažano na aerosnimci Observed on aerphoto	Procijenjeno pomoću regresijskog modela - Predicted using regression model				Točnost procjene Correctly predicted (%)
	0	1	2	3	
0	2	9	1		16,67
1		5	7		41,67
2		1	17	6	70,83
3			7	17	70,83
Ukupno					56,94

Stoga se može zaključiti da bi se zadovoljavajuća procjena oštećenosti stabala bukve na temelju sastavnica boje na ICK snimkama mogla provesti svrstavajući stabla kao: zdrava (stupanj 0 i 1), oštećena (stupanj 2) i jako oštećena (stupanj 3).

Razmjerno slab rezultat procjene oštećenosti prilikom testiranja izračunate jednadžbe može se potražiti u činjenici da je procjena oštećenosti stabala za testi-

ranje obavljena na ekranu računala. Mnogo bolja procjena stupnja oštećenosti pojedinog stabla može se postići stereoskopskom procjenom na originalnim aerosnimkama, koje nisu bile na raspolaganju. Prilikom stereoskopske procjene oštećenosti u obzir se osim boje pojedine krošnje uzima njena struktura i tekstura, dok se za procjenu oštećenosti na ekranu računala u obzir uzima samo boja krošnje.

ZAKLJUČAK – Conclusion

Istraživanje procjene oštećenosti stabala bukve na digitaliziranim ICK snimkama provedeno je sa svrhom da se utvrde mogućnosti automatizacije i objektivizacije procjene oštećenosti stabala. Istraživanje je provedeno na digitaliziranim ICK aerosnimkama gospodarske jedinice Brloško, NP Risnjak i NP Plitvička jezera. Pri tome su za 53 stabla različitog stupnja oštećenosti pomoću računala očitane vrijednosti osnovnih sastavnica boje (RGB) svake pojedine krošnje. Provedena je regresijska analiza da bi se utvrdilo može li se na temelju sastavnica boje na digitaliziranim ICK aerosnimkama procjenjivati stupanj oštećenosti stabala bukve. Testiranje dobivene jednadžbe provedeno je na 18 stabala da bi se utvrdila točnost procjene. Na temelju rezultata dobivenih statističkim analizama može se zaključiti:

Procjene stupnja oštećenosti stabala bukve na temelju osnovnih sastavnica boja može se provesti pomoću jednadžbe:

$$SO = -0,118516 - 0,002394R + 0,034936G + 0,020231B$$

Ako se rezultati razvrstaju u šest stupnjeva oštećenosti, točnost procjene iznosi 27,78%, što je nezadovoljavajuće. Ukoliko se rezultati razvrstaju u četiri stupnja oštećenosti uobičajene pri terenskoj procjeni stupnja oštećenosti, postiže se sveukupna točnost od 56,94%. Pri tome je procjena za stupnjeve 2 i 3 70,83%, a za stupnjeve 0 i 1 16,67 odnosno 41,67%.

Rezultati ovoga rada pokazuju da bi se automatizacija i objektivizacija procjene oštećenosti stabala bukve na ICK aerosnimkama mogla provesti, ali se istraživanje mora provesti na mnogo većem uzorku, kako bi se izradila zadovoljavajuća jednadžba koja bi davala bolju procjenu oštećenosti.

LITERATURA – References

- Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten, 1988.: Auswertung von Color-Infrarot-Luftbildern. Freiburg, 32 str.
- Cvek, V., 1985.: Zavisnost boja stabala hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* Liebl.) na infrakolornim aerosnimcima o prosječnom periodičnom debljinskom prirastu. Diplomski rad, Šumarski fakultet Zagreb, 46 str.
- Hadživuković, S., 1984.: Statistika. Beograd, 244 str.
- Kalafadžić, Z. and V. Kušan, 1990.: Ustanovljavanje stanja šuma na velikim površinama primjenom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka. Glas. šum. pokuse, Broj 26: 447-459
- Kalafadžić, Z., V. Kušan, Z. Horvatić and R. Fintić, 1991.: Inventarizacija oštećenosti šuma bukve i jele u jugozapadnoj Hrvatskoj primjenom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimki. Bilten savjeta za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju, HAZU, Vol. 11: 23-28
- Kalafadžić, Z., V. Kušan, Z. Horvatić and R. Pernar, 1993.: Inventarizacija oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj primjenom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka. Glas. šum. pokuse, posebno izdanje 4: 163-172
- Kušan, V., Z. Kalafadžić, B. Hrašovec, D. Diminić and M. Zdjelar, 1991.: Izgled oštećenih stabala jele, smreke i bukve. Mala ekološka biblioteka 5, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb, 92 str.
- Kušan, V. and R. Pernar, 1996.: Procjena oštećenosti stabala hrasta lužnjaka digitalnom obradom ICK aerosnimaka. Zbornik: Zaštita šuma i pridobivanje drva, knjiga 2, 149-158

- Mansberger, R., 1992.: Ein System zur visuell-digitalen Zustandsbeurteilung von Baumkronen auf Farb-Infrarot-Luftbildern. Dissertation. Wien, 97 str.
- Pernar, R., 1993.: Način i pouzdanost određivanja oštećenosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na infračrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama. Magistarski rad. Šumarski fakultet Zagreb, 61 str.
- Pranjić, A., 1990.: Šumarska biometrika. Zagreb, 205. str.

SUMMARY: The damage status assessment using colour infrared (CIR) aerial photographs are usually performed by visual interpretation. Aerial photographs can be converted in digital form by scanning. The aim of this investigation was to find out the possibilities of automation in the process of damage status assessment on digital CIR aerial photographs due to the fact that base colour components (red, green and blue - RGB) of tree crown are in the strong relationship with its damage status. The investigation was performed on 72 beech trees on CIR aerial photographs of national parks Plitvička jezera and Risnjak, and management unit Brloško. The 54 trees were used in regression analysis, and 18 for the testing of developed regression model. Average accuracy was 27,8 % when the predicted values were classified into six damage stages, and 56,9 % when the predicted values were classified into six damage stages.