

Značajke prostorne distribucije sušaca u bukovo-jelovoj šumi

Renata Pernar, Ante Seletković, Mario Ančić, Jelena Sučić

Nacrtač – Abstract

Utvrdjivanje prostornoga rasporeda oštećenih stabala i sušaca te njihovo praćenje jedan je od prioriteta potrajnoga gospodarenja. Inventarizacija sušaca interpretacijom infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka i GIS-a omogućuje učinkovito prebrojavanje (detekciju) i prostornu distribuciju (kartiranje) sušaca. Interpretacijom ICK aerosnimaka može se ustanoviti trenutačno stanje, tj. u kratkom razdoblju dobiti objektivan uvid u stanje šuma (baza podataka), a kartiranjem na digitalnom ortofotu (DOF-u) dobiti prostorna distribucija sušaca za snimljeno područje. Važnost predložene metode ogleda se u ustanovljavanju pojave i praćenju prostiranja te smjera napredovanja sušenja, kao i mogućih uzroka sušenja na temelju kojih će stručnjaci propisati odgovarajuće mjere i zahvate koje je potrebno provesti. Budući da se aerosnimanjem područja Like (UŠP Gospić) dobio pregled stanja sastojina na istraživanom području, a rezultati fotointerpretacije upućuju na izrazitu oštećenost jele (srednje oštećeno stablo iznosi 61,79 %), pristupilo se inventarizaciji sušaca. Na istraživanom području ukupno je kartirano 17 445 sušaca. Svakomu sušcu, ovisno o lokaciji, pridodane su vrijednosti nagiba, nadmorske visine i izloženosti dobivene raster GIS modeliranjem iz digitalnoga modela reljefa. Najznačajniji su rezultat predstavljene metode brze inventarizacije sušaca tematske karte koje prikazuju prostornu distribuciju sušaca za istraživano područje. U kombinaciji s GIS tehnologijom izrada karte prostornoga rasporeda sušaca traje 5 – 10 minuta po hektaru inventarizirane površine. Na temelju rezultata provedene statističke analize može se zaključiti da geomorfološke značajke (orijentacija terena, nagib i nadmorska visina) utječu na prostornu distribuciju sušaca. Rezultati provedenih analiza omogućuju proučavanje utjecaja pojedinih značajki okoliša na sušenje šuma i ukazuju na pravce budućih multidisciplinarnih istraživanja radi kompleksnih analiza svih značajki okoliša.

Ključne riječi: infracrvene kolorne (ICK) aerosnimke, prostorna distribucija sušaca, bukovo-jelova šuma, DMR, nagib, izloženost, GIS

1. Uvod – Introduction

Kada govorimo o sušenju šuma u Hrvatskoj, osobito pozornost treba posvetiti bukovo-jelovim šumama dinarskoga gorja u kojima je posebno ugrožena obična jela (*Abies alba* Mill.). Obična jela je najvažnija i najzastupljenija vrsta četinjača u Hrvatskoj, s udjelom od približno 65 % ukupne drvne zalihe četinjača. Stoga se sušenje obične jele nameće kao ozbiljan i aktualan gospodarsko-ekološki problem (Potočić i Seletković 2000, Prpić i Seletković 2001).

Prema rezultatima terenske procjene oštećenosti šuma u Hrvatskoj (metoda koju propisuje *ICP Forests – International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects in Forests*)

udio značajno oštećenih stabala obične jele iznosi 76,7 %. Nasuprot tomu kod obične bukve značajna je oštećenost i dalje niska (10,9 %) te je ona naša najmanje oštećena vrsta drveća (Potočić i Seletković 2004).

Da bi se što djelotvornije moglo predviđati sužbijanje sušenja, potrebno je u što kraćem roku dobiti pregled stanja na terenu. Za to je osobito pogodna interpretacija infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka. Mnogi su stručnjaci proučavali primjenu infracrvenih kolornih aerosnimaka za inventarizaciju oštećenosti šuma (Masumy 1984, Hildebrandt i dr. 1986, Barszcz i dr. 1993, Ekstrand 1994, Pernar i Kušan 1996, Franklin 2001, Haara i Nevalainen 2002, Buetler i Schlaepfer 2004, Pernar i dr. 2007a, b).

Prva snimanja pomoću infracrvenoga kolornoga filma u Hrvatskoj radi utvrđivanja oštećenosti bukovi i jelovih šuma provedena su 1988. godine. Fotointerpretacijom ICK aerosnimaka do danas je provedeno šest inventarizacija oštećenosti šuma, no ni jednom od njih nije posebno obuhvaćena inventarizacija sušaca. Inventarizacija sušaca uobičajeno se provodi intenzivnim terestičkim načinom koji zahtijeva velika materijalna sredstva. Na velikim površinama značajno je praktičnija, materijalno prihvatljivija i pouzdanija metoda daljinskih istraživanja (primjena ICK aerosnimaka), koja se u svim dosadašnjim istraživanjima pokazala ravnopravna terenskim načinima rada po svojoj točnosti, a mnogo učinkovitija s obzirom na ostvarenu brzinu i objektivnost (Pernar 1997).

2. Problematika istraživanja – *Issues of research*

Sve veći udio sanitarnih sječa u godišnjim etatima nalaže da posebnu pažnju treba posvetiti zdravstvenomu stanju jelovih šuma i količini slučajnoga prihoda. U proteklih 10 godina udio ukupnoga slučajnoga prihoda u ukupnom etatu iznosio je za jelu 57 % (Uprava šuma podružnica Gospić). Tako visok udio slučajnoga prihoda (uglavnom sušci) negativno se odražava na potrajno gospodarenje šumama. Kako je utvrđivanje prostornoga rasporeda oštećenih stabala i sušaca te njihovo praćenje jedan od prioriteta potrajnoga gospodarenja, potrebno je pravodobno lociranje sastojina slabijega zdravstvenoga stanja kako bi se pravodobnim mjerama održala njihova vitalnost i proizvodnost na optimalnoj razini (Pernar i dr. 2007a). Zbog značajnoga narušavanja stabilnosti same sastojine zbog prinudnoga otvaranja sklopa, što pak utječe na zdravstveno stanje i prirodnu obnovu sastojine, treba osim detekcije sušaca ustanoviti i uzroke sušenja. S tom su tematikom provedena brojna istraživanja. Povećano sušenje šumskoga drveća (posebno jele) u Hrvatskoj veći broj autora dovodi u vezu s utjecajem štetnih aeropolutanata (Glavač i dr. 1985, Prpić 1987, Pleše-Lukeža 1997, Kauzlaric 1988), slično kao i autori iz drugih zemalja (Innes i Cook 1989, Oszlany 1997, Aamlid i dr. 2000, Lagana i dr. 2000, Nellmann i dr. 2003).

Spoznaje dosadašnjih istraživanja dovode pojavu povećanoga sušenja stabala u vezu s utjecajem različitih značajki staništa i sastojine (nadmorska visina, izloženost, nagib, tlo, struktura itd.) te abiot-skih i biotskih čimbenika (Prpić i dr. 1991, Kalafadžić i dr. 1992, Seletković i Potočić 2001, Idžojtić i dr. 2005, N. Potočić i dr. 2005, Božić i dr. 2006, N. Potočić i dr. 2008, Anić i dr. 2009).

Pomoću uobičajenih terenskih metoda teško je učinkovito provesti prebrojavanje sušaca. Inventari-

zacija sušaca interpretacijom ICK aerosnimaka i GIS-a omogućuje učinkovito prebrojavanje (detekciju) i prostornu distribuciju (kartiranje) sušaca.

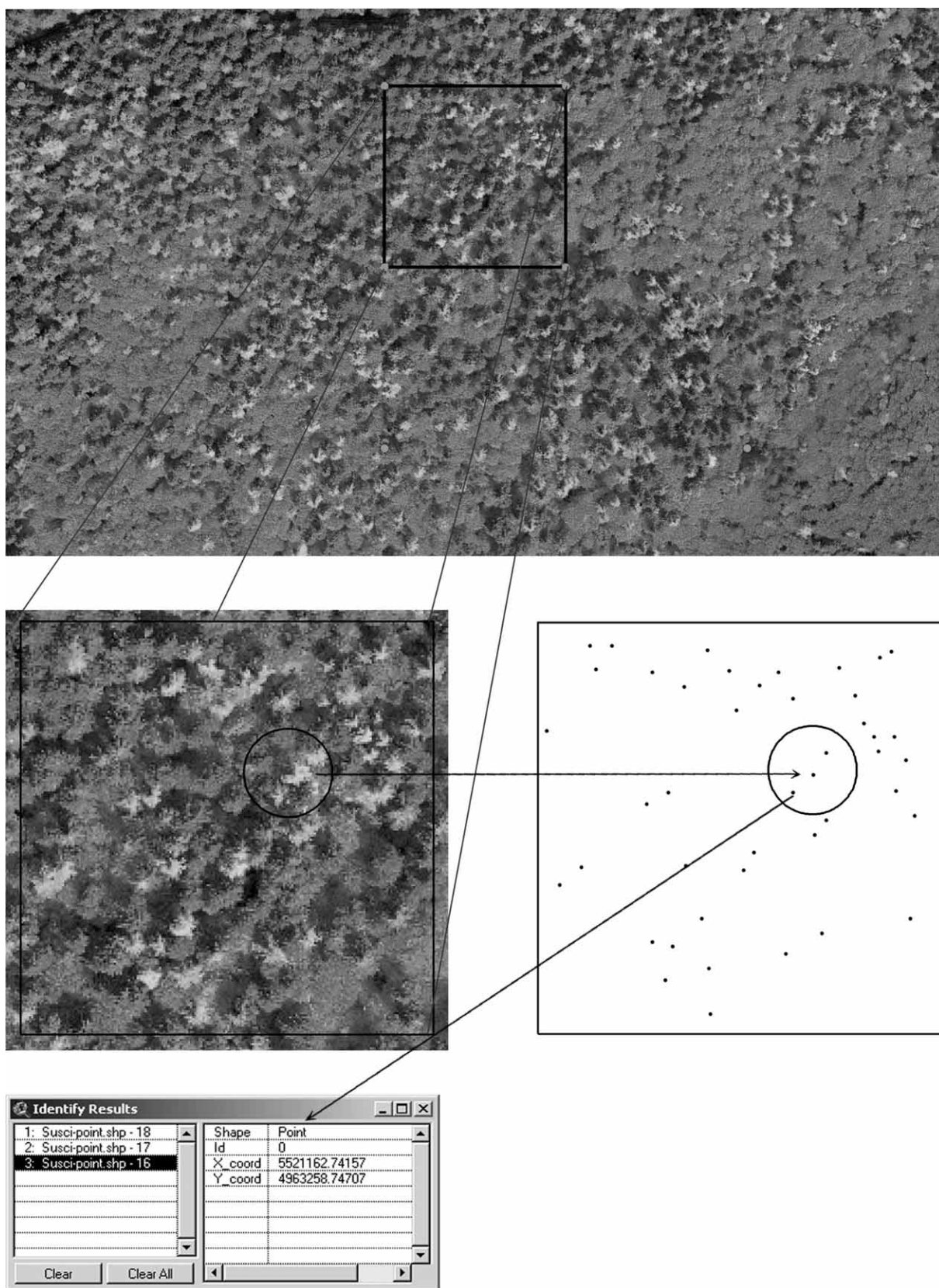
Međutim, vrlo je malo studija izrađeno korištenjem aerosnimaka (Scherrer 1993, Schmidtke 1993, Koch i dr. 1998) u kojima su procjenjivane čitave sastojine, a ne pojedinačni sušci. U samo nekoliko postojećih studija o procjeni pojedinačnih suhih stabala pomoću snimaka upotrijebljeni su snimci krupnoga mjerila, npr. 1 : 6000 (Croft i dr. 1982, Oester 1991, Ekstrand 1994, Haara i Nevalainen 2002).

Važnost predložene metode ogleđa se u ustanovljavanju pojave i praćenju prostiranja te smjera napredovanja sušenja, kao i mogućih uzroka sušenja na temelju kojih će stručnjaci propisati odgovarajuće mjere i zahvate koje je potrebno provesti. Pritom se želi interpretacijom ICK aerosnimaka ustanoviti trenutno stanje, tj. u što kraćem razdoblju dobiti objektivnu sliku stanja šuma (baza podataka), a kartiranjem na infracrvenom digitalnom ortofotu (DOF-u) dobiti prostorna distribucija sušaca za snimljeno područje. Dobiveni tematski sloj poslužit će kao podloga za analizu okolišnih čimbenika u pojavi masovnoga sušenja stabala, što omogućuje provođenje analiza (GIS) kakve do sada nisu bile moguće, a što bi unaprijedilo proučavanje stanja šuma i njihovu zaštitu. Rezultati se mogu lako provjeriti i usporediti jer se interpretacija provodi pod točno utvrđenim uvjetima, jedinstvenim na cijelom području.

3. Materijal i metode istraživanja *Material and methods of research*

Budući da se aerosnimanjem dobio pregled stanja sastojina na istraživanom području, a i rezultati dobiveni fotointerpretacijom ICK aerosnimaka (Pernar i dr. 2007a) pokazuju izrazitu oštećenost jele (srednje oštećeno stablo iznosi 61,79 %), pristupilo se inventarizaciji (kartiranju) sušaca. Na lokalitetima je jelovih šuma zabilježeno sušenje u obliku manjih ili većih skupina stabala (žarišta), pa su na infracrvenom digitalnom ortofotu (1 : 5000), na slučajnom uzorku izdvojene površine od 1 ha (primjerne plohe) i na svakoj su iskartirani svi vidljivi sušci (slika 1).

Kartiranjem su na snimljenim prugama obuhvaćena veća žarišta sušaca. Za izradu DOF-a korišteni su središnji dijelovi snimaka. Veličina piksela pojedina ortofotosnimka iznosi 0,5 m. Zbog velike prirodne varijabilnosti sušaca kroz vrijeme i prostor intenzitet odabranih uzoraka mora biti relativno velik da bi se dobili pouzdani rezultati. Pri određivanju gustoće sušaca za cijelo istraživano područje treba obratiti pažnju na broj sušaca po svakoj plohi. Dobivena srednja gustoća sušaca najčešće se ekstrapolira na čitavo područje šume, uz pretpostavku da



Slika 1. Primjer detekcije sušaca na ICK aerosnimkama i kartiranja na digitalnom ortofotu
Fig. 1 Example of snag detection in CIR aerial photographs and mapping on a digital orthophoto

su slučajno odabrane plohe reprezentativan statistički uzorak populacije sušaca u čitavoj šumi. Mali broj pokusnih ploha dokazano negativno utječe na preciznost procjene gustoće stabala, što rezultira većom proporcionalnom pogreškom pri uzorkovanju populacija s manjom gustoćom (Gray 2003). Uviđom u prostorni raspored broj sušaca (gustoća) po pojedinim prugama kretao se između 23 i 105 po hektaru. Najviše sušaca po hektaru zabilježeno je na pruzi 5 (slika 2). Budući da vrijednosti nisu bile podjednake za sve plohe, prišlo se kartiranju svih uočenih sušaca na infracrvenom DOF-u. Na istraživanom je području ukupno kartirano 17 445 sušaca.

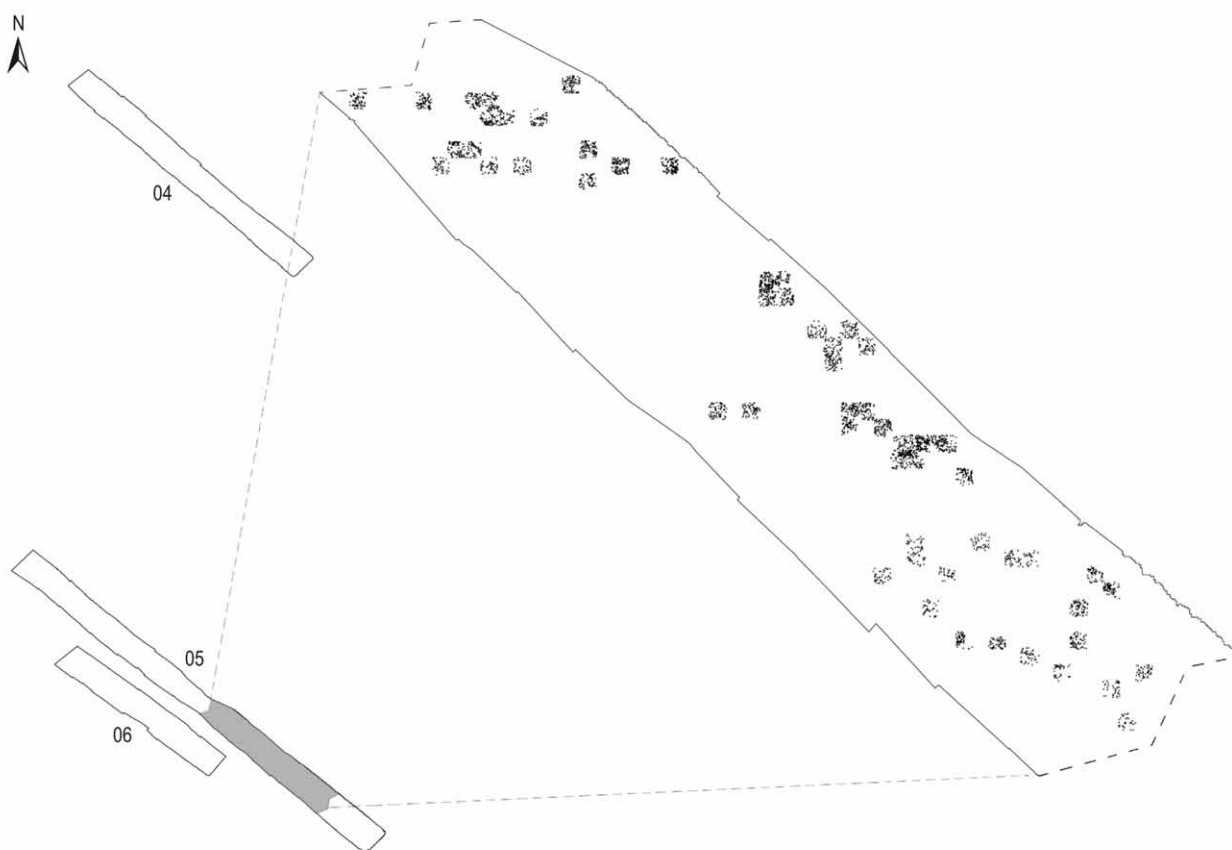
Pomoću GIS-a, u programu ArcGIS 9.2, izrađeni su kartografski prikazi prostornoga rasporeda sušaca po prugama snimanja. Svi su dobiveni podaci uneseni u jedinstveni GIS model istraživanoga područja. Također je u GIS, kao jedan od slojeva, uključena ortosnimka i digitalni model reljefa, čime je omogućena brza prostorna analiza i učinkovit pristup podacima. Digitalni je model reljefa (DMR) bilo nužno napraviti za izradu digitalnoga ortofota. Podaci za digitalni model reljefa dobiveni su vektori-

zacijom slojnica s pripadajućih listova Hrvatske osnovne karte (HOK) 1 : 5000 i topografskih karata (TK25) u mjerilu 1 : 25 000.

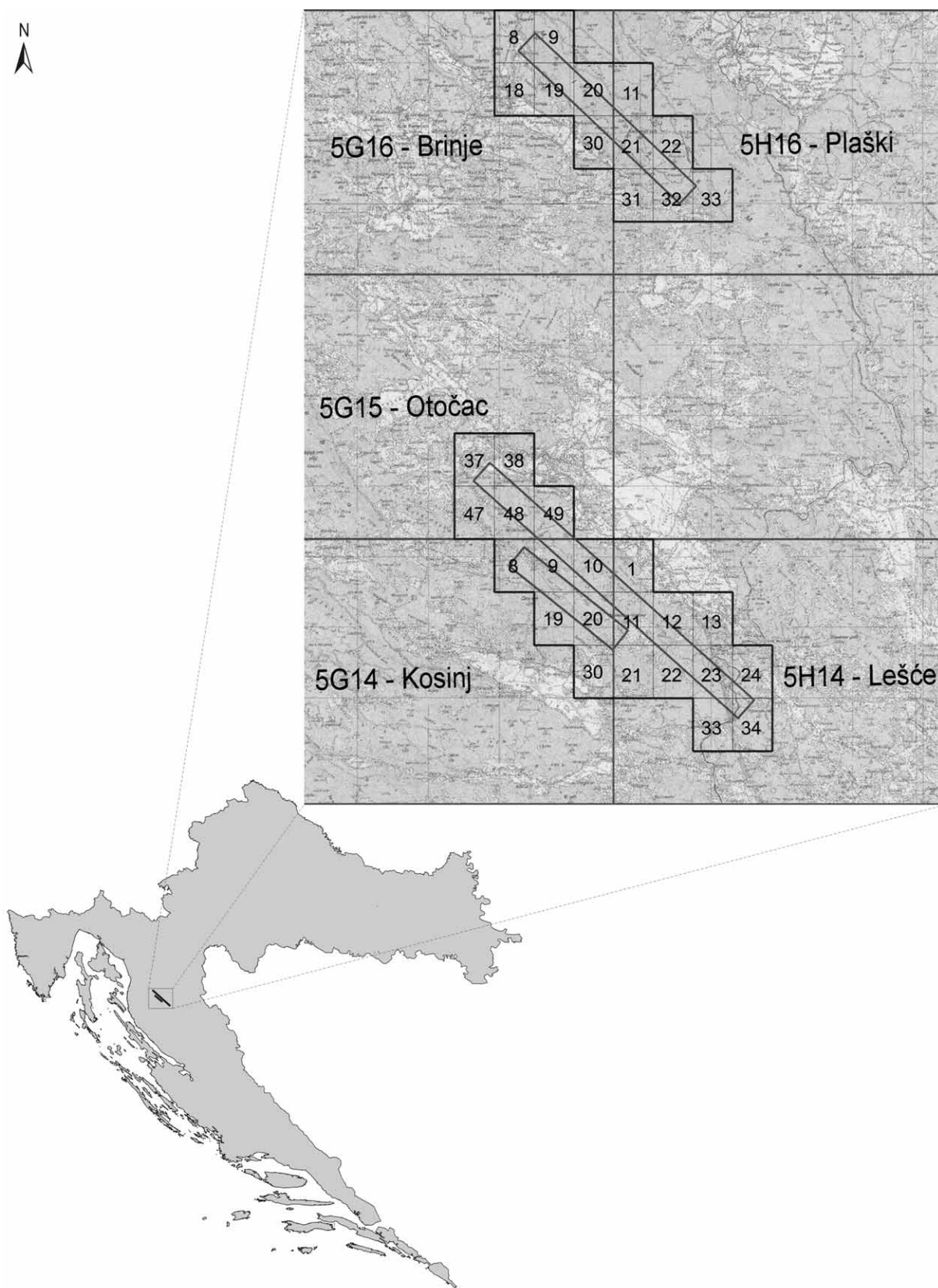
Budući da je odumiranje pojedinačnih stabala stohastičan, rijedak i nepravilan fenomen (Eid i Tuhus 2001), a kako se radi o krškom terenu, varijabilnost je nagiba na istraživanom području vrlo velika te nije poželjno uzimati u obzir prosječni nagib na nekoj površini. To su dokazala i istraživanja Antonića i Legovića (1999), R. Pernar (1997) te Božića i dr. 2004. pa se stoga pristupilo generiranju slojeva iz DMR-a. Nakon toga provedena je statistička analiza dobivenih rezultata, kojom su obrađeni podaci prostorne distribucije sušaca i geomorfoloških značajki.

4. Područje istraživanja – *Research area*

Aerosnimanje ICK filmom područja Like (UŠP Gospić) obavljeno je u prugama (slika 3), što je iz ekonomskih razloga uobičajeno pri snimanju velikih površina. Aerosnimke su prosječnoga mjerila 1 : 6000 i uzdužnoga preklopa 60 %, što omogućuje interpretaciju pojedinačnih stabala u stereomodelu.



Slika 2. Isječak iz pruge snimanja 5 s kartiranim sušcima u uzorcima od 1 ha
Fig. 2 Excerpt from the survey strip 5 with mapped snags in 1 ha samples



Slika 3. Karta snimljenoga područja s ucrtanim prugama snimanja
Fig. 3 Map of surveyed area with drawn survey strips



Slika 4. Prostorna distribucija sušaca na snimljenom području
Fig. 4 Spatial distribution of snags in the surveyed area

Koordinate početnih i završnih točaka aerofotogrametrijskih nizova te planirane dužine pruga navode se u sljedećem pregledu (tablica 1).

Koordinate su u službenom državnom koordinatnom sustavu, u pripadajućim zonama Gauss-Krügerove kartografske projekcije. Snimljeno je ukupno 88 aerosnimaka, a ukupna dužina sve tri snimljene pruge iznosila je 40 243 m (40,24 km) te je na taj način snimljena ukupna površina od 5548 ha.

5. Rezultati istraživanja i rasprava Research results and discussion

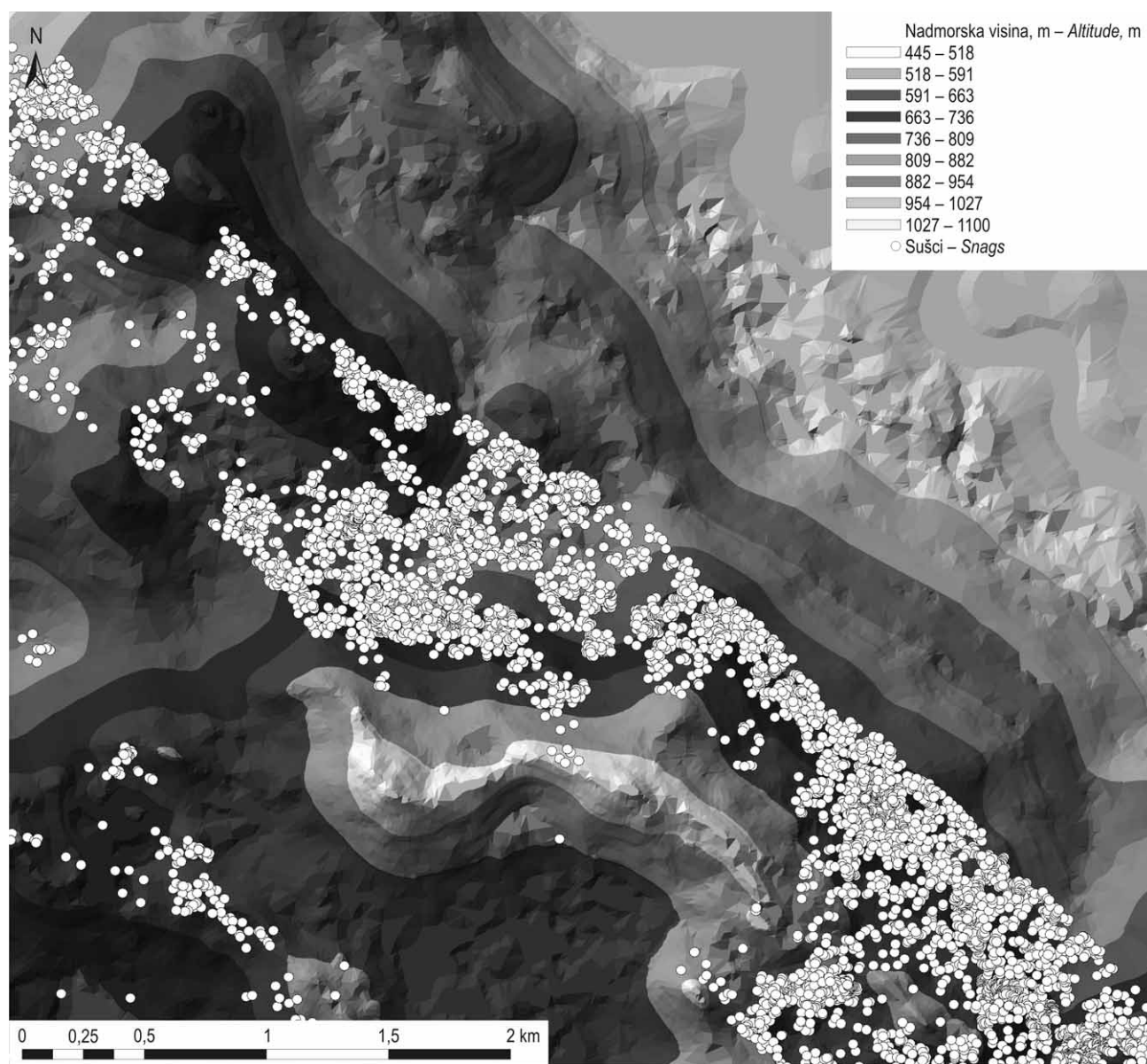
Najznačajniji su rezultat predstavljene metode brze inventarizacije sušaca tematske karte koje pri-

kazuju prostornu distribuciju sušaca za istraživano područje (slika 4).

Tablica 1. Koordinate početaka i završetaka aerofotogrametrijskih nizova i dužine pruga

Table 1 The position of the beginning and end of a stripe and stripe length

Niz, broj Stripe, No.	Y	X	Y	X	Duljina, m Length, m
LIKA					
4	5 517 580	4 993 190	5 526 720	4 984 530	12 591
5	5 515 030	4 968 815	5 530 005	4 955 390	20 112
6	5 517 000	4 964 015	5 522 880	4 959 295	7 540
Ukupno - Total					40 243



Slika 5. Prostorni raspored sušaca s obzirom na nadmorsku visinu

Fig. 5 Spatial distribution of snags in relation to altitude

Osim što je skup i dugotrajan (Boyle i dr. 1998) terenski je posao iznimno težak na teško prohodnom terenu ili na strmim padinama. Metoda temeljena na daljinskim istraživanjima (aerosnimke ili satelitske snimke) znatno pridonosi rješavanju navedenih problema, a uz to je praktičnija, jeftinija i pouzdanija za prebrojavanje suhih stabala i sastojina na većim područjima. U kombinaciji s GIS tehnologijom izrada karte prostornoga rasporeda sušaca traje 5 – 10 minuta po hektaru. Budući da su raster GIS modeliranjem dobiveni slojevi nagiba i izloženosti, svakomu sušcu, ovisno o lokaciji (smještaj u

prostoru), pridodane su vrijednosti nadmorske visine (slika 5), nagiba (slika 6) i izloženosti (slika 7) dobivene pomoću digitalnoga modela reljefa.

GIS model istraživanoga područja kao jedan od slojeva uključuje ortosnimku te se tako dobiva i perspektivni prikaz prostornoga rasporeda sušaca (slika 8).

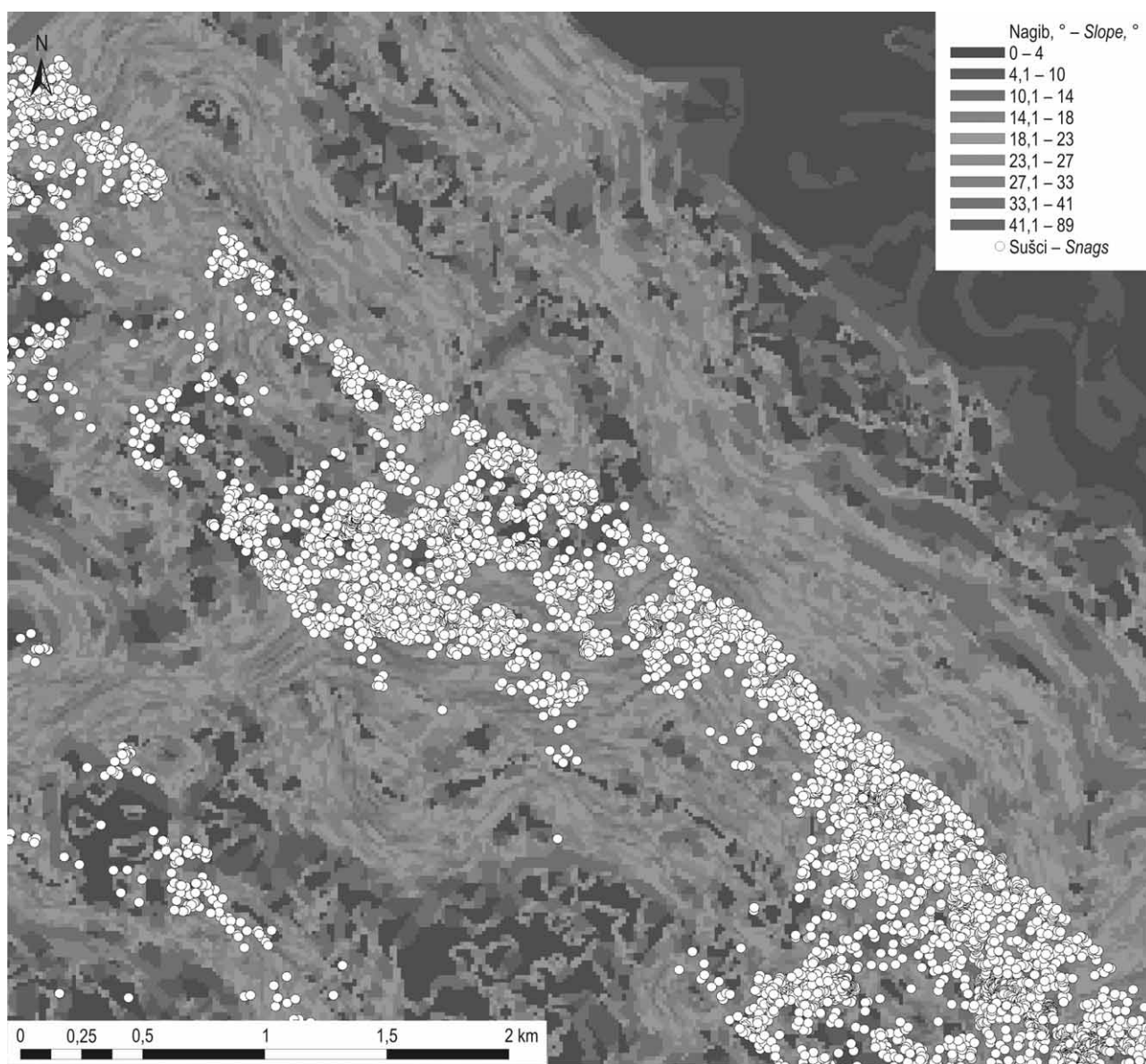
Takve karte u kratkom razdoblju omogućuju pregled stanja na terenu i prostornu distribuciju sušaca, a mogu poslužiti i kao temelj za izračunavanje srednje gustoće sušaca te provođenje različitih analiza kako bi se što učinkovitije mogle predviđati mjere za ublažavanje posljedica sušenja.

Na temelju rezultata statističke analize može se zaključiti da geomorfološke značajke (orijentacija terena, nagib i nadmorska visina) utječu na prostornu distribuciju sušaca. Analizom varijance ($F = 278,79$; $st. sl. = 8$; $p < 0,001$) utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između prostorne distribucije sušaca s obzirom na orijentaciju terena (izloženost) i nagib. Dobiveni rezultati pokazuju da se broj sušaca povećava s povećanjem nagiba na sjeveroistočnoj i sjevernoj ekspoziciji (slika 9).

Testom *Tukey HSD* dokazano je da se s obzirom na nagib jasno razlikuju sve orijentacije terena u odnosu na pojavnost sušaca osim J i JI. To se moglo i

očekivati jer je na tim ekspozicijama manji udio jele. Što se tiče orijentacije terena, također postoji statistički značajna razlika prema nadmorskoj visini ($F = 102,6$; $st. sl. = 8$; $p < 0,001$). Rezultati pokazuju da se povećanjem nadmorske visine povećava broj sušaca na I i SI ekspoziciji (slika 10).

Na osnovi rezultata statističke analize ne bi se smjeli donositi jednostrani zaključci o povezanosti distribucije sušaca jele s mezoreljevnim značajkama. No, nema sumnje da je prostorna distribucija (lokacija) svakoga pojedinoga sušca uvjetovana edafskim i mikroreljevnim značajkama staništa (dubina tla, skeletnost), odnosno ukupnim kapacitetom tla

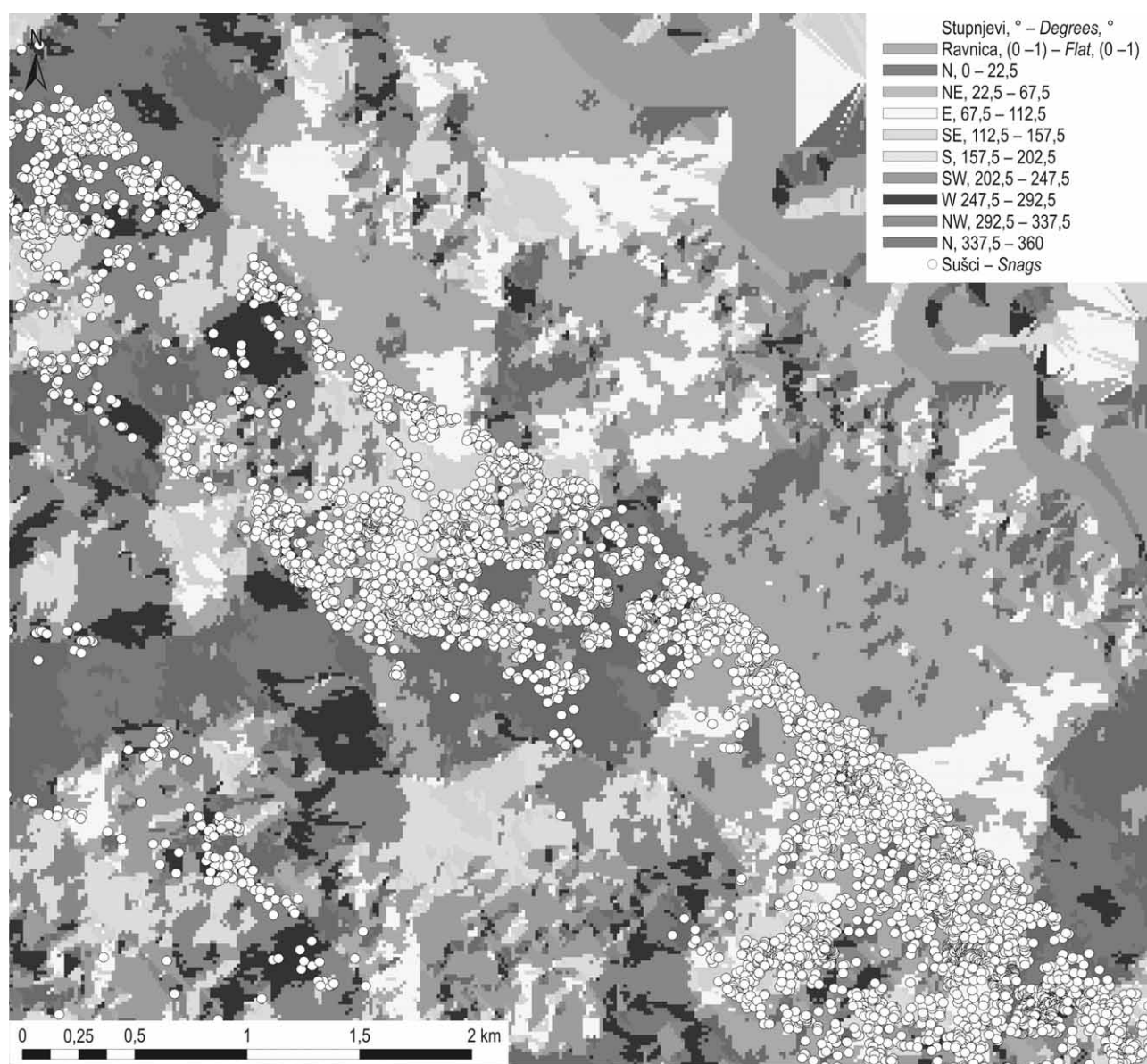


Slika 6. Prostorni raspored sušaca s obzirom na nagib terena
Fig. 6 Spatial distribution of snags in relation to terrain slope

u zoni rizosfere za zadržavanje vode. Pernar (2001) s dubinom tla izravno povezuje produktivnost jelovih sastojina, a Bigler i dr. (2004) prirast zrelih jelovih stabala koriste kao prediktor sušenja jele. O dubini tla kao o izravnom i neizravnom (raširenost i virulentnost patogene gljive *Heterobasidion annosum* /Fries./ Bref.) čimbeniku mortaliteta jelovih stabala govore u svojim istraživanjima i Certini i dr. (2000).

Uzevši u obzir dobivene rezultate, brza i ekonomična inventarizacija sušaca nužna je i za potrebe uređivanja i zaštite šuma i za potrebe drugih znanstvenih disciplina. Na Četvrtoj ministarskoj konferen-

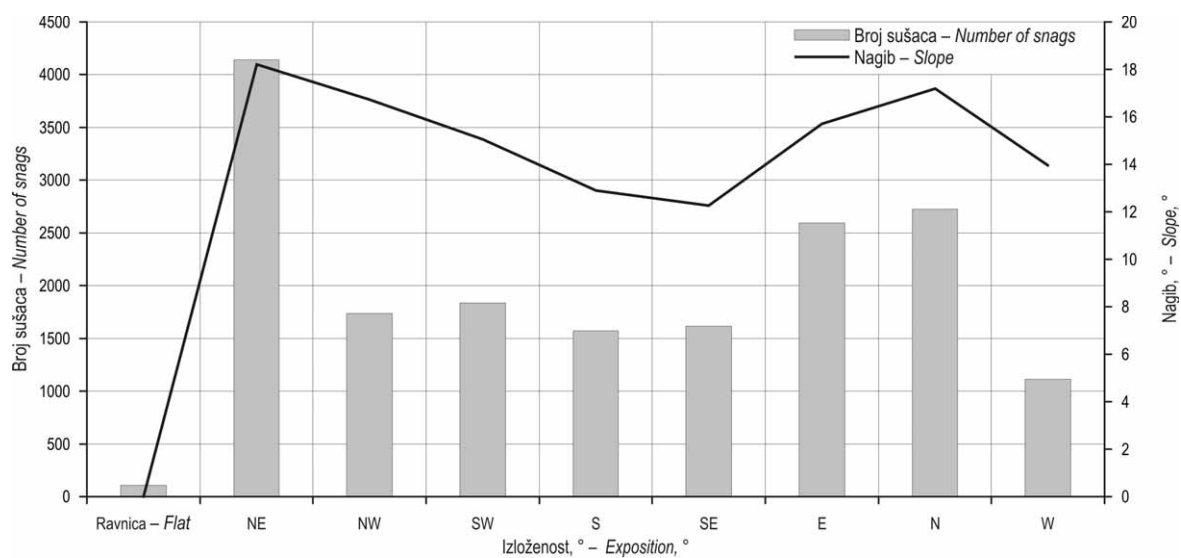
ciji o zaštiti europskih šuma, održanoj 2. listopada 2003, predloženo je da se suha stabla koriste kao novi indikator biološke raznolikosti, tj. da sušci imaju posebno ekološko značenje za biološku raznolikost u šumskim ekosustavima. Stoga je predvidivo da će se sve češće provoditi inventarizacija sušaca. U skladu s tim predložena metoda mogla bi postati nezamjenjiv alat, koji nadopunjuje standardne terenske metode i koji ima najrazličitije primjene: u taksaciji nacionalnih, regionalnih ili lokalnih šuma, u certifikacijskim procesima, u studijama kakvoće staništa za životinjske vrste koje ovise o suhim stablima, klasifikaciji starijih sastojina i dr.



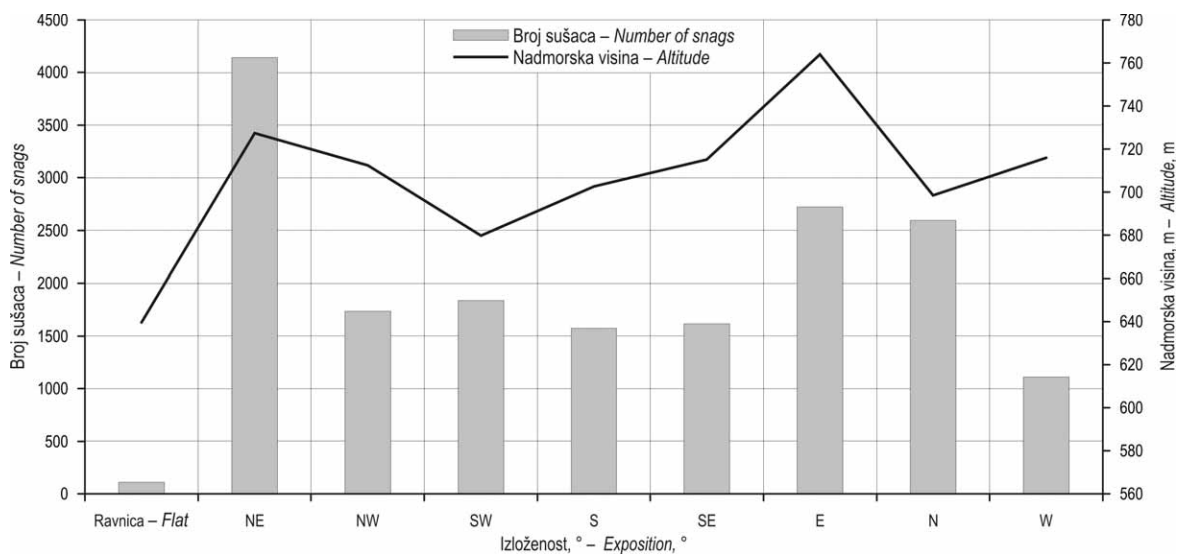
Slika 7. Prostorni raspored sušaca s obzirom na orijentaciju terena (izloženost)
Fig. 7 Spatial distribution of snags in relation to terrain orientation (exposition)



Slika 8. Perspektivni prikaz prostornoga rasporeda sušaca na infracrvenom DOF-u
Fig. 8 Perspective presentation of spatial distribution of snags in the colour infrared DOP



Slika 9. Grafički prikaz odnosa broja sušaca s obzirom na nagib i orijentaciju terena (izloženost)
Fig. 9 Graphic presentation of the ratio of snag number in relation to terrain slope and orientation (exposition)



Slika 10. Grafički prikaz odnosa broja sušaca s obzirom na nadmorsku visinu i orijentaciju terena (izloženost)

Fig. 10 Graphic presentation of the ratio of snag number in relation to altitude and terrain orientation (Exposition)

6. Zaključci – Conclusions

Fotointerpretacijom ICK aerosnimaka ustanovljena je i analizirana prostorna distribucija jelovih sušaca u bukovo-jelovoj šumi dinarskoga gorja. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

- ⇒ Postignutim rezultatima dano je ne samo trenutno stanje šuma (inventarizacija) nego je upozoreno i na moguća žarišta te svrhovitost aerosnimanja, jer aerosnimke omogućuju u kratkom razdoblju pregled stanja na terenu kako bi se što učinkovitije mogle predviđati mjere za ublažavanje posljedica sušenja odnosno ocijeniti vjerojatnost i brzina sušenja.
- ⇒ Metoda temeljena na daljinskim istraživanjima i GIS tehnologiji pruža sve prednosti brze inventarizacije sušaca. Ograničenja standardnih terenskih metoda naglašavaju značenje brze, jednostavne i jeftine metode (gotovo) potpunoga prebrojavanja sušaca. Ovakva metoda također olakšava studije prostornih i vremenskih varijacija u količinama i distribuciji sušaca u udaljenim i nepristupačnim područjima.
- ⇒ Rezultati provedenih analiza omogućuju proučavanje pojedinih značajki okoliša u odnosu na sušenje šuma i pokazuju smjer budućih multidisciplinarnih istraživanja radi kompleksnih analiza svih značajki okoliša.
- ⇒ Rezultati istraživanja primjenjivi su ponajprije u području uređivanja, zaštite i iskorištavanja šuma, no podloga su i stručnjacima drugih područja za tumačenja uočenih pojava.

7. Literatura – References

- Aamlid, D., K. Tørseth, K. Venn, A. O. Stuanes, S. Solberg, G. Hylen, N. Christophersen, E. Framstad, 2000: Changes of forest health in Norwegian boreal forests during 15 years. *Forest Ecology and Management*, 127 (1–3): 103–118.
- Anić, I., J. Vukelić, S. Mikac, D. Bakšić, D. Ugarković 2009: Utjecaj globalnih klimatskih promjena na ekološku nišu obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj. *Šumarski list*, 133 (3–4): 135–144.
- Antonić, O., T. Legović, 1999: Estimating the direction of an unknown air pollution source using a digital elevation model and a sample of deposition. *Ecological Modelling*, 124 (1): 85–95.
- Barszcz, J., J. Kozak, W. Widocki, 1993: Use of GIS and Remote Sensing to Study the Relationships between Forest Decline and Environmental Conditions in the Silesia and Beskid Mts. (Karpaty Mts.). *Zbornik referatov, Mednarodne simpozijum, Zvolen*, str. 129–131.
- Bigler, C., J. Gricar, H. Bugmann, K. Cufar, 2004: Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management*, 199 (2–3): 183–190.
- Boyle, T. J. B., M. Lawes, N. Manokaran, R. Prabhu, J. Ghazoul, S. Sastrapradja, H. C. Thang, V. Dale, H. Eeley, B. Finegan, J. Soberon, N. E. Stork, 1998: Criteria and indicators for assessing the sustainability of forest management: a practical approach to assessment of biodiversity. *Neobjavljeni izvještaj*.
- Božić, M., O. Antonić, R. Pernar, S. D. Jelaska, J. Križan, J. Čavlović, V. Kušan, 2006: Modelling the damage status of silver fir trees (*Abies alba* Mill.) on the basis of geomorphological, climatic and stand factors. *Ecological Modelling*, 194 (1–3): 202–208.

- Bütler, R., R. Schlaepfer, 2004: Spruce snag quantification by coupling colour infrared aerial photos and GIS. *Forest Ecology and Management*, 195 (3): 325–339.
- Certini, G., G. Corti, F. C. Ugolini, 2000: Influence of soil properties on the mortality of silver fir in Tuscany. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 119 (1–6): 323–331.
- Croft, F. C., R. C. Heller, D. A. Hamilton, 1982: How to interpret tree mortality on large-scale color aerial photographs. General Technical Report No. INT-124. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, 13 str.
- Eid, T., E. Tuhus, 2001: Models for individual tree mortality in Norway. *Forest Ecology and Management*, 154 (1–2): 69–84.
- Ekstrand, S., 1994: Close range forest defoliation effects of traffic emissions assessed using aerial-photography. *Sci. Total Environ*, 147: 149–155.
- Franklin, S. E., 2001: Remote Sensing for Sustainable Forest Management. Lewis, Boca Raton, FL, 411 str.
- Glavač, V., H. Koenies, B. Prpić, 1985: O unosu zračnih polutanata u bukove i bukovo-jelove šume Dinarskog gorja sjeverozapadne Jugoslavije (*On the Entering of Areal Pollutants into Beech and Fir Forests on the Dinaric Range of South-western Yugoslavia*). *Šumarski list*, 109 (9–10): 429–447.
- Gray, A., 2003: Monitoring stand structure in mature coastal Douglas-fir forests: effect of plot size. *Forest Ecology and Management*, 175 (1–3): 1–16.
- Haara, A., S. Nevalainen, 2002: Detection of dead or defoliated spruces using digital aerial data. *Forest Ecology and Management*, 160 (1–3): 97–107.
- Hildebrandt, G., H. Grundmann, H. Schmidtke, P. Tepassé, 1986: Entwicklung und Durchführung einer Pilotinventur für eine permanente europäische Waldschadeninventur. Kfk – PEF 11, Karlsruhe, 84 str.
- Idžojtić, M., M. Glavaš, M. Zebec, R. Pernar, M. Dasović, N. Pavlus, 2005: Zaraza obične jele (*Abies alba* Mill.) bijelom imelom (*Viscum album* L. ssp. *abietis* /Wiesb./ Abrom.) u Hrvatskoj (*Infestation of silver fir (Abies alba Mill.) with mistletoe (Viscum album L. ssp. abietis /Wiesb./ Abrom.) in Croatia*). *Šumarski list*, 129 (11–12): 559–573.
- Innes, J. L., E. R. Cook, 1989: Tree-ring analysis as an aid to evaluating the effects of pollution on tree growth. *Canadian Journal of Forest Research*, 19 (9): 1174–1189.
- Kalafadžić, Z., V. Kušan, Z. Horvatić, R. Fintić, 1992: Der Gesundheitszustand der Tanne (*Abies alba* Mill.) in Südwesten Kroatiens aufgrund der Farb-Infrarot-Luftbildinterpretation. 6. IUFRO Tannensymposium, Forstliche Fakultät Universität Zagreb, str. 219–231.
- Kauzlarić, K., 1988: Utjecaj štetnih polutanata na propadanje šuma u Gorskom kotaru (*The Effect of Damaging Pollutants on Dieback of Forests in Gorski Kotar*). *Šumarski list*, 112 (5–6): 231–245.
- Koch, B., D. Münch, T. Pröbsting, 1998: Totholz als ökosystemare Eingangsgröße. U: A. Fischer (ur.), Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. Landsberg, Baden-Württemberg, str. 64–73.
- Kušan, V., R. Pernar, 1996: Procjena oštećenosti stabala hrasta lužnjaka digitalnom obradom ICK aerosnimaka (*Assessment of oak tree damage by digital analysis of CIR aerial photographs*). U: S. Sever (ur.), Zaštita šuma i pridobivanje drva, knjiga 2, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb, str. 149–158.
- Lagana, A., E. Salerni, C. Barluzzi, C. Perini, V. de Dominicis, 2000: Mycocoenology in *Abies alba* Miller woods of Central-Southern Tuscany (Italy). *Acta Soc. Bot. Pol.*, 69 (4): 293–298.
- Masumy, A. S., 1984: Interpretationschlüssel zur Auswertung von Infrarotfarbluftbildern für die Waldschadens Inventur. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 27: 687–689.
- Nellemann, C., M. G. Thomsen, U. Soderberg, K. Hansen, 2003: Forest growth and critical air pollutant loads in Scandinavia. Book Editors Karnosky DF, Percy KE, Chappelka AH, Simpson C, Pikkarainen J. Air pollution, global change and forests in the new millennium, 3: 277–288.
- Oester, B., 1991: Erfassen der Waldschaden-Entwicklung anhand von grossmassstäblichen Infrarot-Farbluftbildern. Remote Sensing Series No. 19. Department of Geography, Remote Sensing Laboratories, University of Zurich-Irchel.
- Oszlany, J., 1997: Forest health and environmental pollution in Slovakia. *Environmental Pollution*, 98 (3): 389–392.
- Pernar, N., 2001: Tla jelovih šuma u Hrvatskoj (*Soils of the fir forests of Croatia*). U: B. Prpić (ur.), Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i »Hrvatske šume« p.o. Zagreb, Zagreb, str. 107–132.
- Pernar, R., 1997: Application of results of aerial photograph interpretation and geographical information system for planning in forestry. *Glas. šum. pokuse*, 34: 141–189.
- Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, 2007a: Primjena ICK aerosnimaka za utvrđivanje oštećenosti šuma na području UŠP Gospić (*Application of Colour Infrared Aerial Photographs for the Assessment of Forest Damage in the Gospić Forest Administration*). *Šumarski list*, 131 (11–12): 507–521.
- Pernar, R., M. Bajić, M. Ančić, A. Seletković, M. Idžojtić, 2007b: Detection of mistletoe in digital colour infrared images of infested fir trees. *Periodicum Biologorum*, 109 (1): 67–75.
- Pleše-Lukeža, I., 1997: The ecological Issues of Gorski Kotar. *Šumarski list*, 121 (7–8): 415–424.
- Potočić, N., I. Seletković, 2000: Stanje oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj 1998. god. (*Crown condition of forests in Croatia in 1998*). *Šumarski list*, 124 (1–2): 51–56.
- Potočić, N., T. Čosić, I. Pilaš, 2005: The Influence of Climate and Soil Properties on Calcium Nutrition and Vitality of Silver fir (*Abies alba* Mill.). *Environmental pollution*, 137 (3): 596–602.

Potočić, N., I. Seletković, D. Ugarković, A. Jazbec, S. Mikac, 2008: The influence of climate properties on crown condition of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver fir (*Abies alba* Mill.) on Velebit. *Period. Biol.*, 110 (2): 145–150.

Prpić, B., 1987: Decline of forest trees in Croatia with the special emphasis on the load of »Gorski Kotar« area with the acid rain and heavy metals. *Šumarski list*, 111 (1–2): 53–60.

Prpić, B., Z. Seletković, 2001: Ekološka konstitucija obične jele (*Ecological constitution of the silver fir*). U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti, str. 255–269.

Prpić, B., Z. Seletković, M. Ivkov, 1991: Propadanje šuma u Hrvatskoj i odnos pojave prema biotskim i abiotskim činiteljima danas i u prošlosti (*Forest decline in Croatia and its relation to the biotical and abiotical factors today and in the past*). *Šumarski list*, 115 (3–5): 107–129.

Scherrer, H. U., 1993: Projekt zur flächenhaften Erfassung und Auswertung von Sturmschäden. *AFZ/Der Wald*, 14: 712–714.

Schmidtke, H., 1993: Die fraktale Geometrie von Sturm-schadenflächen im Wald. *AFZ/Der Wald*, 14: 710–712.

Seletković, I., N. Potočić, 2001: Komparativni prikaz stupnja oštećenosti krošanja na plohama biondikacijske mreže U Republici Hrvatskoj (*Comparative survey of crown damage degree on plots of bioindication network in the Republic in Croatia*). U: S. Matic i dr. (ur.), *Znanost u potrajnom gospodarstvu hrvatskim šumama*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb, str. 457–463.

Seletković, I., N. Potočić, 2004: Oštećenost šuma u Hrvatskoj u razdoblju od 1999. do 2003. godine (*Crown condition of forests in Croatia for the period 1999–2003*). *Šumarski list*, 137 (3–4): 137–148.

Abstract

Features of Spatial Snag Distribution in a Beech-Fir Forest

With the participation of about 65% in the total growing stock of conifers, silver fir is the most important and the best represented conifer species in Croatia. The increasing share of sanitary felling in the annual felling plans demands that special attention be paid to the health status of fir forests and the quantity of unplanned felling. This is the reason why dieback of silver fir in beech-fir forests in the Dinaric Alps is an acute and topical management-ecological problem. In the past 10 years, the share of total unplanned felling in the overall annual felling for fir has amounted to 57%. Such a high share of unplanned yield (mainly snags) has had a negative effect on sustainable forest management. Determining the spatial distribution of damaged trees and snags, as well as their monitoring is one of the priorities of sustainable management. Hence, it is of utmost importance to detect less healthy stands and apply timely measures for the purpose of maintaining their vitality and productivity at an optimal level. Due to the seriously disturbed stand stability caused by forced canopy opening, which in turn affects the health condition and natural regeneration of the stand, it is necessary not only to detect snags but also determine the causes of dieback. According to the results of past research, increased tree dieback is associated with the impact of different site and stand characteristics (altitude, exposition, slope, soil, structure, etc.), as well as abiotic and biotic factors (fir needle moth, mistletoe); however, the real causes are yet to be discovered. It is difficult to make efficient snag inventories with standard field methods. For large areas, a remote sensing method (the application of CIR aerial photographs) is much more practical, more cost effective and more reliable. All research activities so far have proved that, in terms of accuracy, this method is equal to field working methods, while in terms of speed and objectivity it is far more efficient. Snag inventories by means of CIR aerial photography interpretation and GIS enable efficient enumeration (detection) and spatial distribution (mapping) of snags. The proposed method is highly important not only for the detection and monitoring of the occurrence, distribution and direction of dieback progress, but also for the detection of possible dieback causes, on the basis of which experts will prescribe adequate measures and treatments. The objective of CIR aerial photography interpretation is to determine the current situation and acquire an objective picture of forest condition (database) in as short a period as possible, while mapping on a color infrared digital orthophoto (DOP) is intended to provide the spatial distribution of snags for the surveyed area. An aerial survey of the Lika area with the CIR film (Forest Administration Gospić) was conducted in strips (Fig. 3). The coordinates of the start and finish points of aerial photogrammetric series in the associated zones of the Gauss-Krüger cartographic projection, as well as planned strip lengths, are given in the following survey (Table 1). A total of 88 aerial photographs were taken at an average scale of 1:6000 and longitudinal overlap of 60%, which allows for the interpretation of individual trees in the stereomodel. As the total length of all the three strips amounted

to 40,243 m (40.24 km), an area of 5,548 ha was surveyed. Since aerial photography provided an insight into the condition of the stands in the investigated area, and since the results obtained by photointerpretation of CIR aerial photographs indicated acute fir damage (the average damaged tree is 61.70%), snag inventory (mapping) was undertaken. In the localities of fir forests, dieback was observed in the form of smaller or bigger groups of trees. Hence, areas of 1 ha (sample plots) were delineated on a random sample in the color infrared DOP (1:5000). All visible snags were then mapped in each area (Fig. 1). The central parts of the images were used to construct a DOP. The pixel size of each orthophoto is 0.5 m. According to the spatial snag distribution, the number of snags (density) per strip ranged between 23 and 105 per ha (Fig. 2). Since the values were not similar for all the plots, all the identified snags were mapped in the color infrared DOP. A total of 17,445 snags were mapped in the study area (Fig. 4). GIS was used to produce a cartographic presentation of spatial snag distribution along the survey strips. In order to produce a digital orthophoto, it was necessary to construct a digital relief model. Data for the DRM were obtained by vectorizing the contour lines from the associated sheets of the Basic Map of Croatia (BMC) of 1:5000 scale and topographic maps (TM25) at a scale of 1:25000. Since individual tree mortality is a stochastic, rare and irregular event (Eid and Tuhus 2001) and since this is a karst terrain, slope variability in the study area is very high; therefore, it is not advisable to take into account the average slope in an area. As the same was also confirmed by the research of Antonić and Legović (1999), Pernar (1997), and Božić et al. (2004), the layers were generated from the DRM. Raster-GIS modeling provided the layers of slope and exposition. In this way, the values of altitude (Fig. 5), slope (Fig. 6) and exposition (Fig. 7) obtained by means of the DRM were assigned to every snag, in dependence of the location (position in space). An orthophoto and a digital relief model (DRM) were also entered into GIS as one of the layers, which enabled rapid spatial analysis and an efficient access to data (Fig. 8). Next, the obtained results were statistically analyzed and the data of spatial snag distribution and geomorphological features were processed. The most important result ensuing from the presented method of rapid snag inventory is the thematic maps, which present spatial snag distribution for the investigated area. Not only is field work very expensive and long-lasting (Boyle et al., 1998), but it is also extremely difficult in barely accessible terrains or on steep slopes. A method based on remote sensing (aerial or satellite images) considerably contributes to the solution of the afore mentioned problems and provides a more practical, less expensive and more reliable manner of enumerating dry trees and stands over large areas. In combination with GIS technology, the production of a map of spatial snag distribution takes 5–10 minutes per hectare of the inventoried area. Such maps provide an insight into the field condition and spatial snag distribution in a very short time. They can also be used as a basis for the calculation of mean snag density and for conducting a variety of analyses intended to predict efficient measures of mitigating dieback effects. Based on the results of statistical analysis, it can be concluded that the spatial distribution of snags is influenced by geomorphological features (terrain orientation, slope and altitude). Variance analysis ($F=278.79$; $p<0.001$) showed that there was a statistically significant difference between the spatial distribution of snags with regard to terrain orientation (exposition) and slope. According to the results, the number of snags increases in accordance with an increase in the slope on the north-eastern and northern exposition (Fig. 9). The Tukey HSD test proved that, in terms of slope, all terrain orientations are clearly differentiated in relation to the occurrence of snags, except the S and SE. This was expected, since the participation of fir in these expositions is lower. As for terrain orientation, there is also a statistically significant difference in terms of altitude ($F=102.6$; $p<0.001$). The results show that the number of snags in the E and NE exposition rises with an increase in altitude (Fig. 10). The results of statistical analysis should not be used to make one-sided conclusions based on the correlation between fir snag distribution and mezorelief features. Undoubtedly, however, the spatial distribution (location) of each single snag is conditioned by edaphic and micro-relief site characteristics (soil depth, skeletalness), i.e. total soil capacity for water retention in the rhizosphere zone. Pernar (2001) directly associates the productivity of fir stands with soil depth, while Bigler et al. (2004) use the increment of mature fir trees as a predictor of fir dieback. Research by Certini et al. (2000) also confirms soil depth as a direct and indirect (distribution and virulence of pathogenic fungus *Heterobasidion annosum* (Fries.) Bref.) factor of fir tree mortality. Taking into account the obtained results, a rapid and economic snag inventory is a must both for the needs of forest management and protection and for the needs of other scientific disciplines. At the Fourth Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, held on 2 October 2003, it was proposed that dry trees should be used as a new indicator of biodiversity, or in other words, that snags should have special ecological significance for biodiversity within forest ecosystems. It is, therefore, predicted that snag inventories will be undertaken with increasing frequency. In accordance with this, the proposed method could become an irreplaceable tool and a complement to standard field method. In addition, it has versatile applications, including national, regional or local forests taxation, certification processes, studies of site quality for animal species which depend on dry trees; classification of older stands, etc. The obtained results not only provided the current forest condition (inventory), but also indicated potential (focal points) and purpose of aerial surveys. Aerial photographs provide a survey of the field condition in a short time period, as well as allow for the possibility of planning efficient measures of mitigating dieback effects and evaluating dieback probability and rate. The results of the anal-

yses enable the study of particular environmental features and their effects on forest dieback, as well as indicate the direction of future multidisciplinary research involving complex analyses of all environmental features. The results of the research are applicable primarily in the field of forest management, protection and harvesting, but they can also provide a basis for interpretations of events occurring in other fields.

Keywords: color infrared (CIR) aerial photographs, spatial snag distribution, beech-fir forest, DRM, slope, exposition, GIS

Adresa autorâ – Authors' address:

Prof. dr. sc. Renata Pernar
e-pošta: rpernar@sumfak.hr
Doc. dr. sc. Ante Seletković
e-pošta: aseletkovic@sumfak.hr
Mario Ančić, dipl. inž. šum.
e-pošta: ancic@sumfak.hr
Jelena Sučić, dipl. inž. šum.
e-pošta: jsucic@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za izmjeru i uređivanje šuma
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb
HRVATSKA