



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE

Matija Magdić i Mateo Perković

**PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA ZA BRZU DETEKCIJU ZARAŽENOSTI I
PROPADANJA NIZINSKIH ŠUMA REPUBLIKE HRVATSKE**

Zagreb, 2022.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za daljinska istraživanja i GIS, na Zavodu za izmjeru i uređivanje šuma, Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom mentorice doc. dr. sc. Jelene Kolić i predan je na natječaj za dodjelu Rektorovu nagrade u akademskoj godini 2021/2022.

Sadržaj rada

1. UVOD	1
1.1. Problematika istraživanja	1
1.2. Detekcija zaraženosti i propadanja šuma primjenom metoda daljinskih istraživanja ..	2
1.2.1. Vizualna interpretacija aerosnimaka	3
1.2.2. Digitalna interpretacija aerosnimaka - Vegetacijski indeksi	3
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	4
3. MATERIJAL I METODE RADA	5
3.1. Vizualna i digitalna interpretacija ICK aerosnimaka s ciljem određivanja intenziteta zaraženosti sastojina	5
3.2. Vizualna i digitalna interpretacija ICK aerosnimaka s ciljem određivanja intenziteta propadanja pojedinačnih stabala	8
4. REZULTATI RADA I RASPRAVA	10
4.1. Rezultati vizualne i digitalne interpretacije snimaka s obzirom na zaraženost sastojina	10
4.2. Rezultati vizualne i digitalne interpretacije snimaka s obzirom na intenzitet propadanja pojedinačnih stabala	14
5. ZAKLJUČCI	19
6. POPIS LITERATURE	20
7. SAŽETAK	23
8. SUMMARY	24

1. UVOD

Brojne klimatske promjene koje se događaju znatno se odražavaju i na šumske ekosustave, što utječe na povećanje oštećenosti i propadanja šuma te posljedično dovodi do sušenja šuma i šumskih ekosustava. Sušenje i propadanje šuma složene je naravi koje uključuje biotske, pedološke, topografske, klimatske i druge čimbenike (Prpić 1996, Donaubauer 1998, Thomas i dr. 2002). Sušenjem su zahvaćena i najvrjednija šumska područja u Republici Hrvatskoj – nizinske šume hrasta lužnjaka i poljskog jasena (Tikvić i dr. 2011, Ugarković i Pleša 2017). Štete rezultiraju smanjenim prirastom, složenijim i otežanim uvjetima u gospodarenju šumama te smanjenju kakvoće drva i općenito šuma i šumskih ekosustava.

1.1. Problematika istraživanja

Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) je naša najvažnija vrsta drveća i uz poljski jasen čini glavnu vrstu u nizinskim šumama Republike Hrvatske. U zadnjih 10-ak godina svjedoci smo jakih napada štetnika mrežaste hrastove stjenice, koji uzrokuje propadanje šuma. Mrežasta hrastova stjenica (*Corythucha arcuata*) sitni je kukac i invazivna strana vrsta u Hrvatskoj koja se brzo širi u hrastovim šumama i čini štete. *C. arcuata* je autohtona vrsta u Sjevernoj Americi, a na europskom je tlu zabilježena 2000. godine, na području sjeverne Italije, u pokrajinama Lombardija i Piedmont (Bernardinelli i Zandigiacomo 2000). Tri godine kasnije zamijećena je u Turskoj (Mutun 2003), a 2005. godine otkrivena je u Švicarskoj (Forster i dr. 2005). U Bugarskoj 2012. godine (Dobrevi i dr. 2013) i u proljeće 2013. na teritoriju Mađarske (Csoka i dr. 2013), a zatim i u Hrvatskoj (Hrašovec i dr. 2013). gdje je prvi puta utvrđena na području istočne Slavonije 2013. godine.

To je sitan kukac, prozirnog pokrivanja koji ima mrežastu nervaturu, zbog toga i naziv mrežasta stjenica. Može imati 2-3 generacije godišnje, što ovisi o vremenskim uvjetima. Ličinke i odrasli oblici ovog štetnika s donje strane lista sišu biljne sokove. Sisanjem uzrokuju diskoloraciju lista, pa hrastove šume kod jakog napada već u kolovozu imaju brončano smeđe listove.

Osim štetnika mrežaste hrastove stjenice, u nizinskim šumama pojavio se i patogen *Chalara fraxinea*, gljiva koja uzrokuje odumiranje običnog jasena (*Fraxinus excelsior* L.) te je u posljednjih 10-ak godina zahvaćen velik broj europskih zemalja. Osim na običnom jasenu kod nas je zabilježena i na poljskom jasenu (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) čiji udio zauzima oko 40 000 ha nizinskih šuma Republike Hrvatske. Šume poljskog jasena dio su ekosustava poplavnih šuma Hrvatske, a s obzirom na prostornu cjelovitost te strukturnu, funkcionalnu i

gospodarsku očuvanost reprezentiraju ponajveći areal poplavnih jasenovih šuma u Europi (Anić 2001). Poljski jasen se uz hrast lužnjak, s obzirom na osutost, smatra najosjetljivijom vrstom nizinskih šuma Hrvatske (Prpić i dr. 1991). Domaći autori (Barić i dr. 2012) navode prisutnost fitopatogene gljive *Hymenoscyphus fraxineus* na običnom i poljskom jasenu u Hrvatskoj, međutim patogen još uvijek nije potvrđen kao primarni uzročnik odumiranja poljskog jasena u nizinskim šumama Hrvatske. Strani autori ovog patogena smatraju jednim od primarnih uzročnika odumiranja običnog i poljskog jasena u Europi (Bakys i dr. 2009, Kräutler i Kirisits 2012, Kjær i dr. 2012). U Hrvatskoj je virulentni soj patogena *Chalara fraxinea* prvi put detektirana na području Gorskog Kotara 2009. godine. Odumiranje jasena inkorporira veliki broj simptoma počevši od prijevremenog sušenja i otpadanja lišća, do nekroze i diskoloracije drva i kore. Tipični simptomi na domaćinu uključuju pojavu diskoloracija i venuće listova i peteljki, formiranje nekrotičnog tkiva na rahisima i kori mladih izbojaka, postepeno progresivno napredujući do faze produljenih nekrotičnih lezija tvoreći naposljetku otvorene rane na stabljici i diskoloracije unutarnjeg drva, te postepeno sušenje i odumiranje cijele krošnje (Bakys i dr. 2009, Kowalski i Holdenrieder 2009, Kirisits 2012, Gross i dr. 2014). Odumiranjem i propadanjem zahvaćena su stabla različite starosti, u šumskim sastojinama, rasadnicima i urbanim sredinama, neovisno o uvjetima staništa ili metodama gospodarenja (Bakys i dr. 2009a, Schumacher i dr. 2010). Ugrožena su stabla svih dobnih razreda, mortalitet je veći u nižim dobnim razredima, otežano je prirodno pomlađivanje jasena, kao i proizvodnja zdravih sadnica jasena za pomlađivanje u rasadničarskoj proizvodnji, te prema dosadašnjim istraživanjima nije poznato da ovaj uzročnik prouzrokuje štete na drugim vrstama drveća osim na jasenu.

1.2. Detekcija zaraženosti i propadanja šuma primjenom metoda daljinskih istraživanja

Kako bi se moglo pristupiti utvrđivanju intenziteta zaraze sastojina i propadanja stabala, da bi se pravovremenim mjerama smanjile posljedice napada štetnika i patogena, te sastojine održale na optimalnoj razini vitalnosti, prioritetni zadatak je locirati zaražene sastojine i pojedinačna stabla (Pernar i dr. 2020). Za određivanje prostornog obuhvata napadnutih sastojina, primjena metoda daljinskih istraživanja se pokazala kao izuzetno brza i pouzdana metoda (Pernar i Šelendić 2006, Millward i dr. 2010, Aszalos i dr. 2012, Sun i dr. 2012, Kolić i dr. 2015, Pernar i dr. 2020). Budući da je u što kraćem vremenskom periodu potreban uvid u stanje na terenu, u šumarstvu, su sve više u primjeni bespilotne letjelice. Ukoliko se radi o području manjeg obuhvata, kao što je odsjek ili sastojina, bespilotne letjelice omogućavaju brzo ocjenjivanje stanja štete i zahvaćenosti, te procjenu, pomoći aerosnimki ili 3D modela, modela širenja npr. štetnika te u kojem smjeru treba djelovati da bi se suzbio. Prednost u njihovu

korištenju je velika, učinkovite su, ekonomične, brze, lakše se pristupa nepristupačnom terenu bez da se ugrožava ljudski život. Također se štedi na novčanim sredstvima i utrošenom vremenu koje je višestruko kraće. Aerosnimke dobivene snimanjem bespilotnom letjelicom su visoke prostorne rezolucije, a ovisno o kameri kojom se snima, mogu biti RGB ili multispektralne (ICK) snimke. Za inventarizaciju zaraze, oštećenosti i šteta u šumarstvu, najpogodnija je fotointerpretacija infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka. Inventarizacija oštećenosti šuma pomoću ICK aerosnimaka bazira se na pretpostavci da između zdravih i oštećenih stabala postoje jednoznačne razlike u načinu preslikavanja na snimci. Razlike preslikavanja su uvjetovane promjenom oblika krošnje i/ili promjenama u spektralnom sustavu reflektiranih sunčevih zraka (Kalafadžić i Kušan 1990a). Istraživanja su pokazala da je refleksija od vegetacije u bližem infracrvenom području (700 – 1000 nm) mnogo veća i raznolikija, nego u području vidljivog dijela spektra (400 – 700 nm), naročito s obzirom na vrstu drveća i zdravstveno stanje. Oštećene sastojine, osim različito izraženih simptoma oštećenosti s obzirom na teksuru i boju, ovisno o vrsti drveća, pokazuju i promjene u spektralnoj remisiji elektromagnetskih valova, tako da dolazi do promjene tipičnog preslikavanja zdrave vegetacije na aerosnimkama. Morfološke promjene povezane su sa gubitkom lišća, odumiranjem grana i dijelova krošnje, a fiziološke promjene predstavljaju promjenu boje lišća, što uvjetuje promjenu u refleksiji (Pernar 1994, 1997).

1.2.1. Vizualna interpretacija aerosnimaka

Vizualna interpretacija podrazumijeva registriranje i prepoznavanje različitih korisnih podataka pomoću osjeta vida (Oluić, 2001). Odnosi se na uočavanje objekata na slici na temelju razlike u boji, teksturi, uzorku, obliku, sjeni, veličini, itd. Koristeći vizualnu interpretaciju, vrlo je važno poznavanje karakteristika refleksije različitih objekata (vegetacije, tla, vode,...) te kako se ti objekti odražavaju u različitim područjima spektra. Osim što je najraširenija, metoda vizualne interpretacije postiže najtočnije i najpreciznije rezultate, prvenstveno zahvaljujući ljudskoj sposobnosti identificiranja standarda. S druge strane, sam proces relativno dugo traje jer se svaki dio snimke zasebno analizira, pa ovisno o veličini područja koje je potrebno klasificirati, može znatno povećati vrijeme obrade (Mas i Ramirez, 1996).

1.2.2. Digitalna interpretacija aerosnimaka - Vegetacijski indeksi

Vegetacijski indeksi su kvantitativne mjere, bazirane na digitalnim vrijednostima, koje procjenjuju biomasu ili zdravstveno stanje vegetacije. Vegetacijski indeksi (VI) kombiniraju refleksiju mjerenu iz različitih dijelova elektromagnetskog spektra za pružanje informacija o

vegetaciji (Campbell 1996). Oni su mjerilo zdravlja biljaka, produktivnosti i pokrovnosti, a omogućuju nam mjerenje više različitih aspekata: koncentraciju klorofila, pokrovnost, strukturu pokrovnosti. Vegetacijski indeksi su radiometrijske mjere prostorne i vremenske fotosintetske aktivnosti vegetacije kroz biofizičke varijable kao što su indeks površine lista (LAI), pokrovnost, biomasa i dr. (Gilabert i dr. 1996). Većina vegetacijskih indeksa se naziva širokopojasnim jer se baziraju na vrijednosti refleksije unutar crvenog i bližeg infracrvenog dijela spektra (Bannari i dr. 1995, Baret 1995).

Indeksi se računaju na osnovi digitalnih brojeva pojedinih spektralnih kanala. Na temelju dobivenih rezultata može se provoditi interpretacija različitih stanja i veličina vegetacije uz znatno poboljšanje u odnosu prema interpretaciji izvornih kanala.

Vezano za tipove vegetacije i njen sklop najčešće se koristi normalizirani razlikovni vegetacijski indeks - NDVI. Pomoću njega se mjeri vrhunac refleksije u bližem infracrvenom dijelu spektra, a kao referentnu vrijednost uzima refleksiju u crvenom dijelu spektra. On se računa pomoću formule:

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

(NIR – blisko infracrveno, R – crveni kanal)

Računanjem NDVI dobivaju se vrijednosti u rasponu od -1 do 1. Vrijednost 0 predstavlja područja bez vegetacije, a vrijednosti veće od 0,8 označavaju površinu sa najvećom gustoćom zelenog lišća.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

U skladu s aktualnom problematikom šumarstva koja se odnosi na propadanje jasenovih i hrastovih sastojina nizinskog vegetacijskog pojasa Republike Hrvatske, uzrokovanih pojavom patogene gljive *Chalara fraxinea* i invazivnog štetnika *Corythucha arcuata* u radu će se provesti vizualna i digitalna interpretacija ICK aerosnimaka kako bi se ukazalo na mogućnost trenutnog uvida stanja na terenu (detekcija) te brzinu dobivanja kvantitativnih podataka potrebnih za učinkovito gospodarenje. Istraživanje će se provesti na području Uprava šuma podružnica (UŠP) Sisak i Zagreb s ciljem utvrđivanja intenziteta napada, određivanja veličine zahvaćene površine te udjela suhih stabala po jedinici površine. Za područje istraživanja bit će provedena vizualna i digitalna interpretacija snimaka. Na temelju dobivenih rezultata izradit će se tematske karte prostornog rasporeda zaraženih sastojina i suhih stabala u programskom paketu ArcGIS 10.6.1.

3. MATERIJAL I METODE RADA

Istraživanje je provedeno na području UŠP Sisak i Zagreb (Slika 1), na kojem se nalaze vrijedne šume hrasta lužnjaka i poljskog jasena.

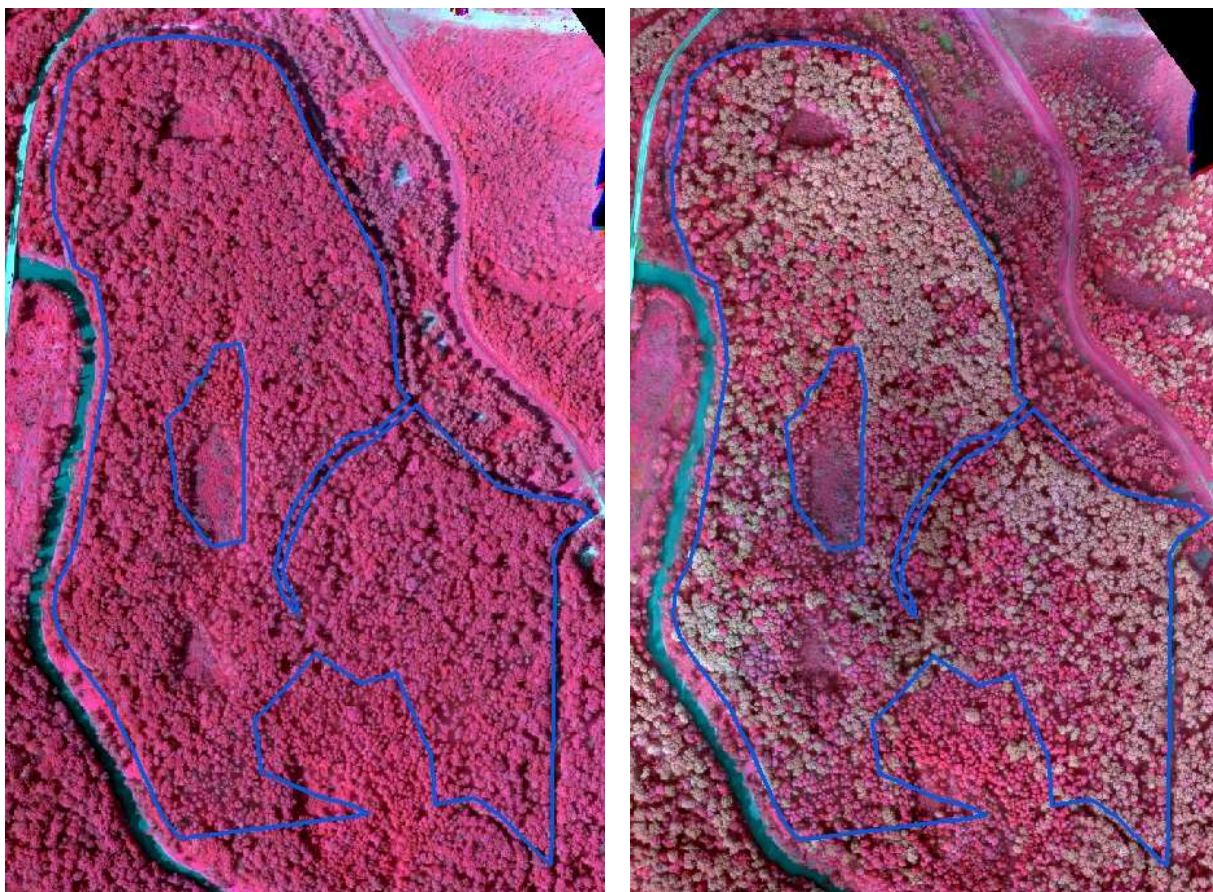


Slika 1. Područje istraživanja – dijelovi UŠP Sisak i Zagreb

Za potrebe ovoga istraživanja, područje je snimljeno multispektralnom kamerom na bespilotnoj letjelici, u dva vremenska perioda (prije i nakon napada štetnika). Dobivene ICK aerosnimke visoke prostorne rezolucije je bilo potrebno postupcima georeferenciranja i rektifikacije smjestiti u prostor, u programskom paketu ArcGIS 10.6.1., te su bile spremne za interpretaciju.

3.1. Vizualna i digitalna interpretacija ICK aerosnimaka s ciljem određivanja intenziteta zaraženosti sastojina hrasta lužnjaka

Za utvrđivanje intenziteta zaraženosti sastojina hrasta lužnjaka hrastovom mrežastom stjenicom, na području UŠP Zagreb, šumarija Popovača, gospodarska jedinica (g.j.) Popovačke šume, odsjek 58a, bilo je potrebno koristiti snimke iz dva perioda snimanja (Slika 2). Naime, kako je već u uvodnom dijelu opisano, ličinke i odrasli oblici ovog štetnika s donje strane lista sišu biljne sokove čime uzrokuju diskoloraciju lista, pa hrastove šume kod jakog napada već u kolovozu imaju brončano smeđe listove.



Slika 2. Snimke iz dva perioda snimanja – početak srpnja (lijevo) i kraj kolovoza (desno)

Budući da na ICK aerosnimkama oštećene sastojine, pokazuju promjene u spektralnoj emisiji elektromagnetskih valova, te tako dolazi do promjene tipičnog preslikavanja zdrave vegetacije, odmah je uočljivo (Slika 2 – desno) da su pojedinačna stabla hrasta napadnuta hrastovom mrežastom stjenicom (sivo-zelena boja). Da bi se utvrdio intenzitet napada bilo je potrebno provesti vizualnu i digitalnu interpretaciju snimaka.

Prilikom vizualne interpretacije, zaražena stabla i sastojine, prema fotointerpretacijskom ključu su izdvojena na temelju razlike u boji (Slika 3), teksturi, strukturi, a pri tome je bilo važno poznavati karakteristike refleksije različitih objekata (vegetacije, tla, vode,...) te kako se ti objekti odražavaju u različitim područjima spektra.



Slika 3. Vizualna interpretacija ICK aerosnimaka

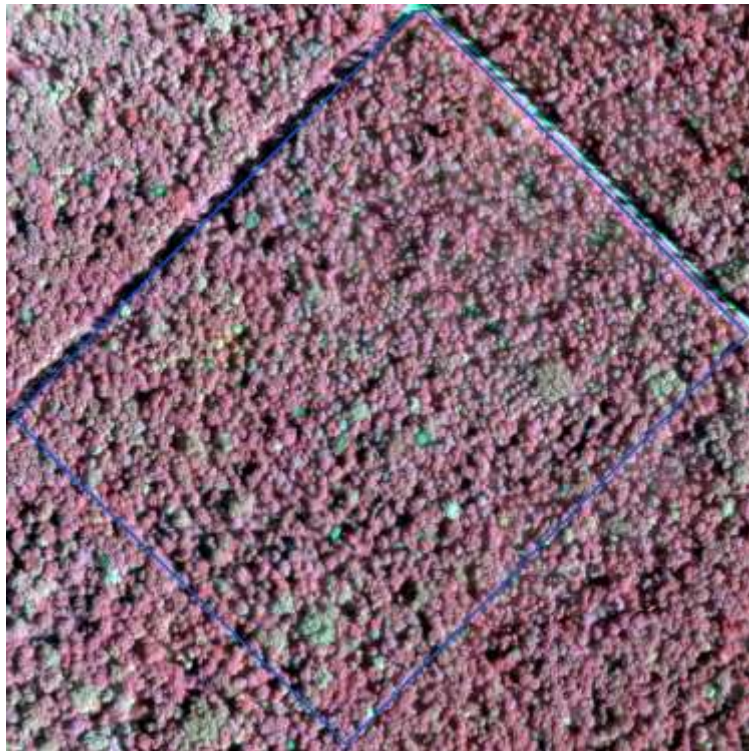
Prilikom digitalne interpretacije, zaražena stabla i sastojine se izdvajaju na temelju normaliziranih razlikovnih vegetacijskih indeksa (NDVI), koji se automatski računaju na osnovi digitalnih zapisa pojedinih spektralnih kanala (Slika 4).



Slika 4. Digitalna interpretacija ICK aerosnimaka

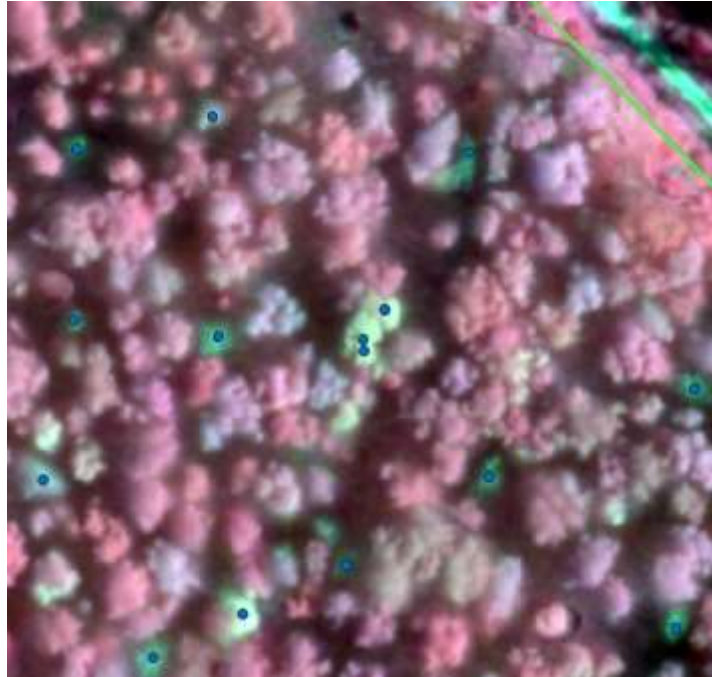
3.2. Vizualna i digitalna interpretacija ICK aerosnimaka s ciljem određivanja intenziteta propadanja pojedinačnih stabala poljskog jasena

Za utvrđivanje intenziteta propadanja stabala poljskog jasena uzrokovanih patogenom *Chalara fraxinea*, na području UŠP Sisak, šumarija Sisak, g.j. Brezovica, odsjek 33a, bilo dovoljno uzeti snimke iz srpnja (Slika 5), jer je patogen na zaraženom stablu stalno prisutan i uzrokuje prijevremeno sušenje i otpadanje lišća, te nekrozu i diskoloraciju drva i kore, što postepeno dovodi do sušenja i odumiranja cijele krošnje te takva stabla prepoznajemo kao suha stabla (siva boja).



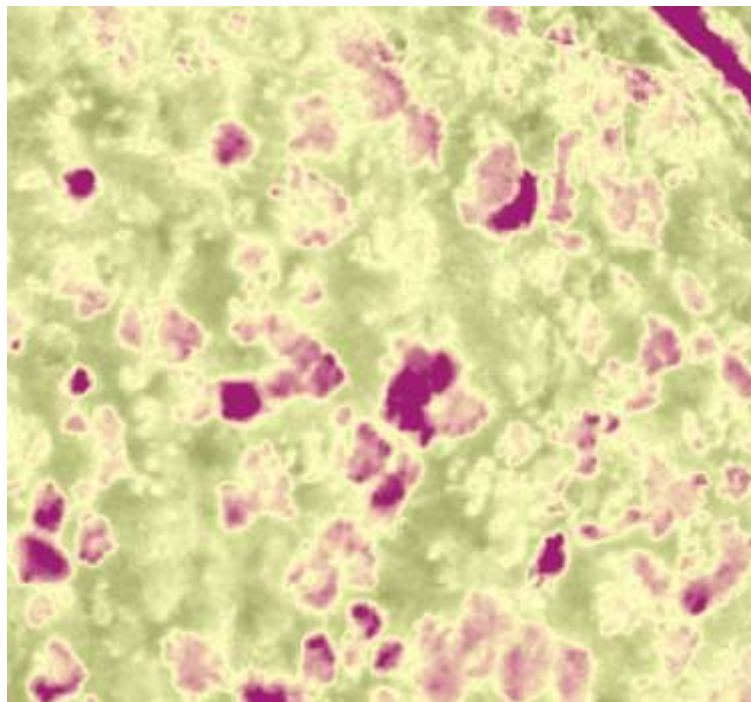
Slika 5. Snimka područja istraživanja snimljena početkom srpnja

Vizualna interpretacija, tj. prepoznavanje suhih stabala (sušaca), na ICK aerosnimkama, temelji se na pretpostavci da između zdravih i oštećenih stabala postoje jednoznačne razlike u načinu preslikavanja na snimci, a uvjetovane su promjenom oblika krošnje i/ili promjenama u spektralnom sustavu reflektiranih sunčevih zraka. Kako bi se mogao odrediti broj suhih stabala i njihov prostorni raspored u odsjeku, kartiran je vrh svakog suhog stabla (Slika 6).



Slika 6. Primjer izdvajanja sušaca (plavo) vizualnom interpretacijom

Prilikom digitalne interpretacije, suha stabla su izdvojena na temelju normaliziranih razlikovnih vegetacijskih indeksa (NDVI) (Slika 7), koji se računaju na osnovi digitalnih zapisa pojedinih spektralnih kanala, te ovisno o gustoći zelenog lišća dobivaju se vrijednosti u rasponu od -1 do 1. Vrijednost 0 predstavlja stabla bez zelenog lišća, a vrijednosti veće od 0,8 označavaju stabla sa najvećom gustoćom zelenog lišća.

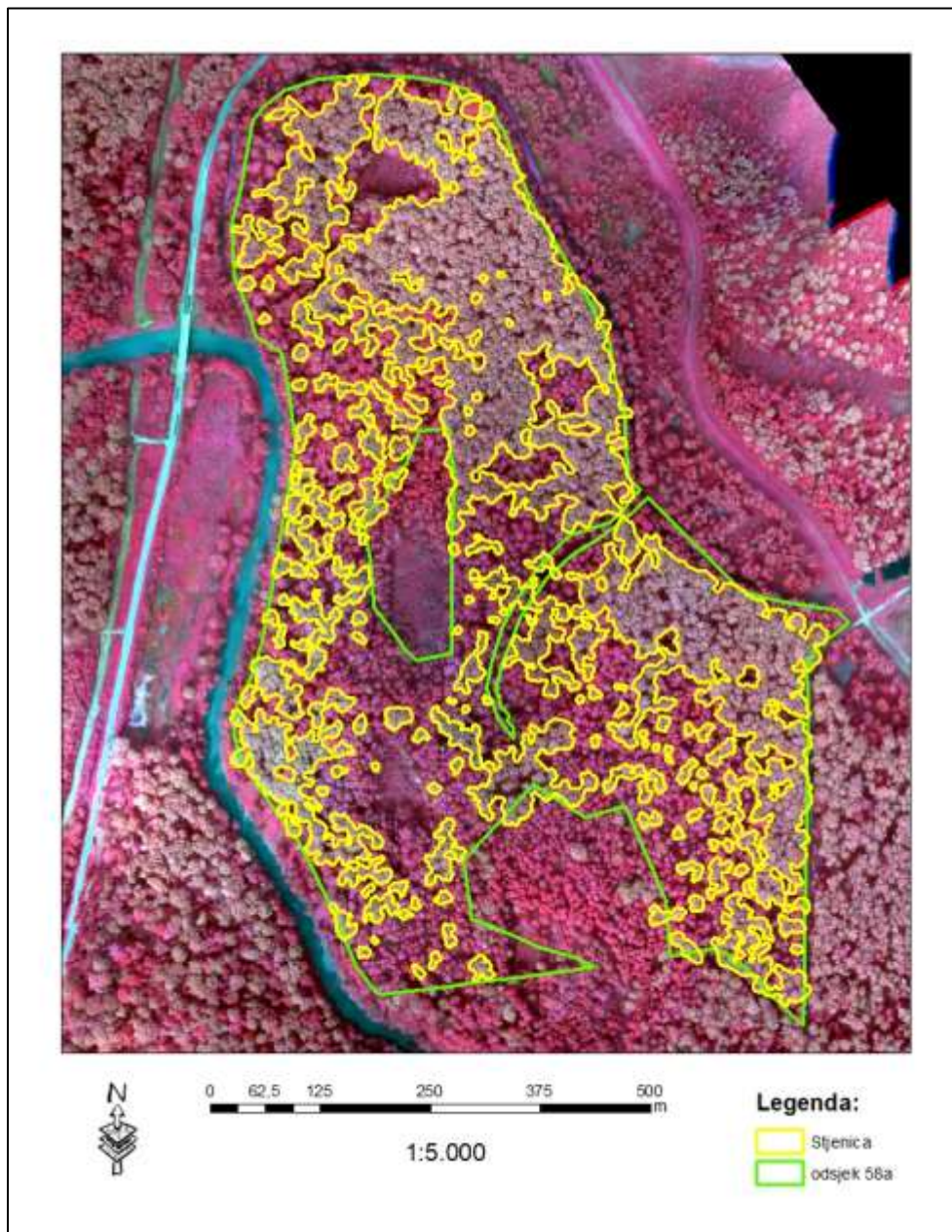


Slika 7. Primjer izdvajanja sušaca digitalnom interpretacijom, na temelju izračuna vegetacijskih indeksa

4. REZULTATI RADA I RASPRAVA

4.1. Rezultati vizualne i digitalne interpretacije snimaka s obzirom na zaraženost sastojina hrasta lužnjaka

Na temelju provedene vizualne interpretacije ICK aerosnimaka dobiven je brzi uvid u stanje na terenu te prostorni raspored (tematska karta) zaraženih stabala i sastojina (Slika 8). Dobivene su površine zaraženih poligona (sastojina) u odsjeku, te udjeli zahvaćenih površina s obzirom na ukupnu površinu odsjeka, a time je utvrđen i intenzitet zaraze.

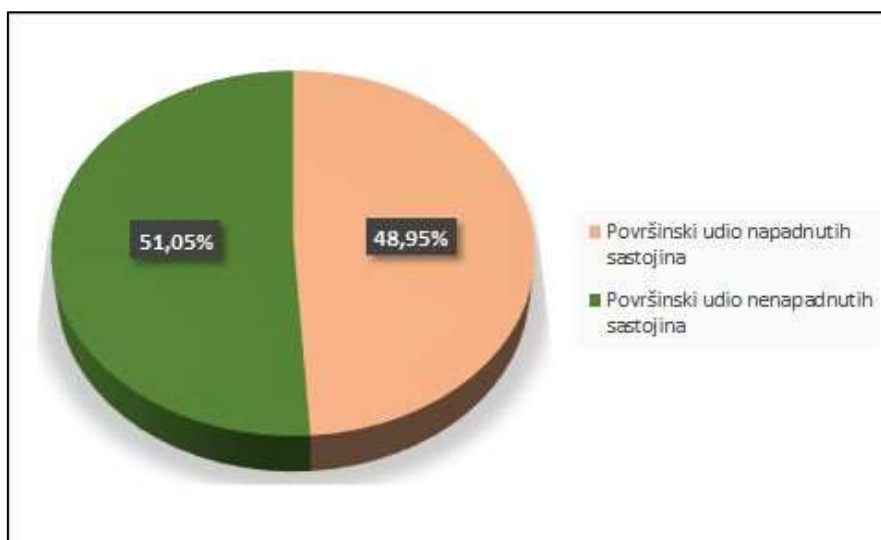


Slika 8. Prostorni raspored poligona (sastojina) napadnutih hrastovom mrežastom stjenicom unutar odsjeka 58a

Tablica 1. Broj poligona i površina (m²) zaraženih sastojina delineiranih vizualnom interpretacijom (izvadak iz baze podataka)

Zaražene sastojine	površina (m2)	Zaražene sastojine	površina (m2)
1	12189
2	1726	97	357
3	120	98	700
4	517	99	143
5	138	100	4936
6	232	101	451
7	145	102	97
8	673	103	574
9	254	104	498
10	306	105	227
11	422	106	480
12	513	107	208
13	176	108	140
14	577	109	93
15	573	110	81386
...	...	Σ	205455

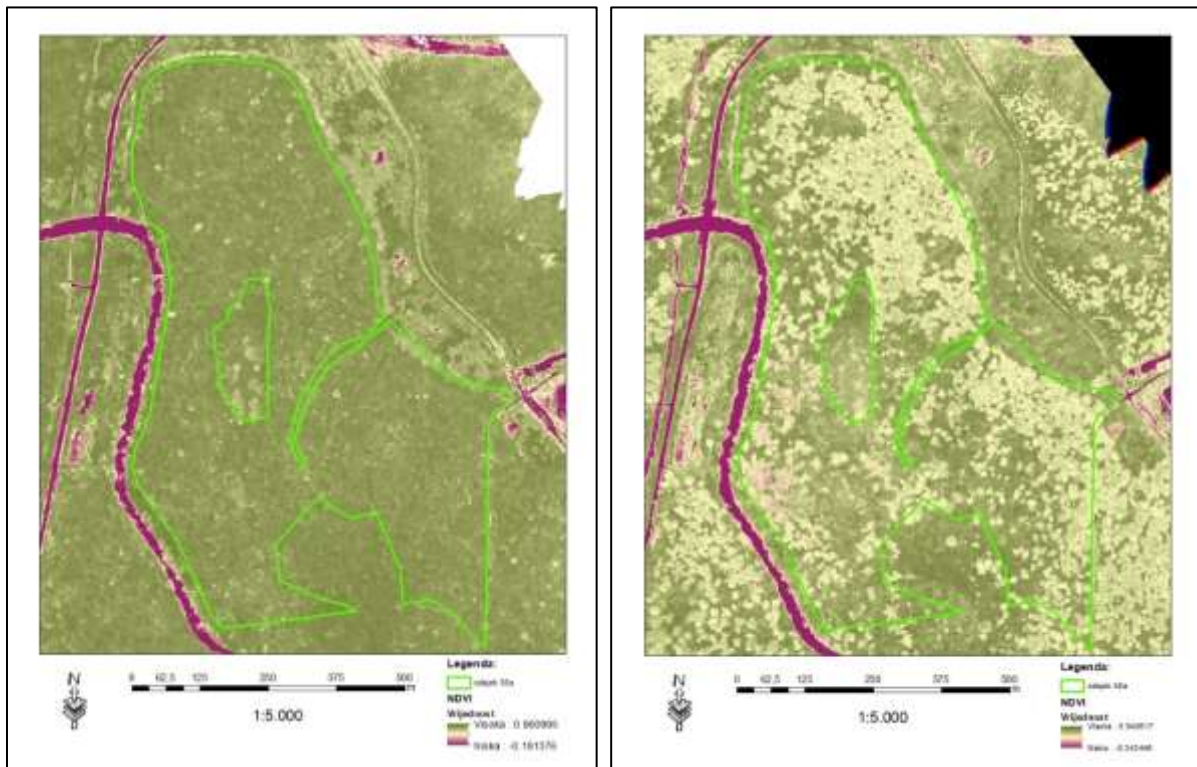
Vizualnom interpretacijom ukupno je delineirano 110 poligona koji obuhvaćaju zaražene sastojine (Slika 8, Tablica 1), na osnovu kojih je izračunata površina i udio koju te sastojine zauzimaju u odsjeku. Ukupna površina odsjeka 58a je 42 ha, od toga zaražena stabla i sastojine zauzimaju površinu 20,5 ha (Tablica 1), odnosno 48,95% površine odsjeka (Slika 9).



Slika 9. Udio zaraženih stabala i sastojina u odsjeku 58a

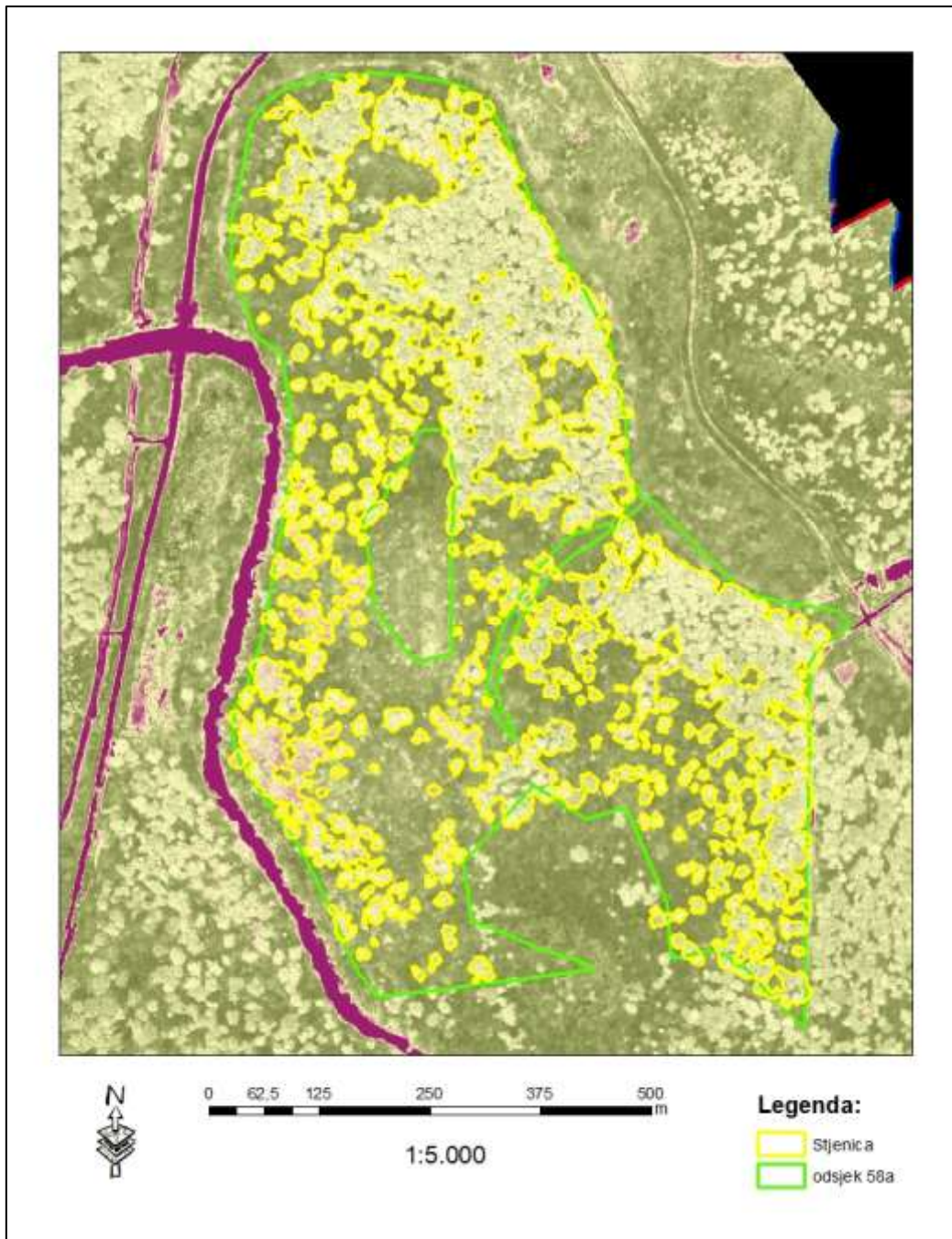
Iako zaražene sastojine zauzimaju gotovo 50 % površine odsjeka, jako je bitan i njihov prostorni raspored. Iz slike 8 je vidljivo da se većina zaraženih sastojina nalazi u

sjeveroistočnom i istočnom dijelu odsjeka, te tamo čine veće cjeline, dok u ostalom dijelu odsjeka se pojavljuju u manjim segmentima.



Slika 10. Prikaz digitalne interpretacije snimaka iz dva perioda snimanja (prije napada štetnika - lijevo i nakon napada štetnika-desno)

Provedenom digitalnom interpretacijom snimaka, također se dobio brzi uvid u stanje na terenu, prije i nakon napada štetnika. Iz slike 10 (lijevo) je vidljivo da početkom srpnja nema zaraženih stabala hrasta lužnjaka hrastovom mrežastom stjenicom, međutim već krajem kolovoza (Slika 10 - desno) je zabilježena velika zaraženost hrastovih stabala i sastojina. Ako to usporedimo sa vizualnom interpretacijom, istoga područja, vidljivo je da su zaražene sastojine, koje su izdvojene digitalnom interpretacijom (automatski), u potpunosti se poklopile sa poligonima izdvojenim vizualnom interpretacijom (Slika 11).



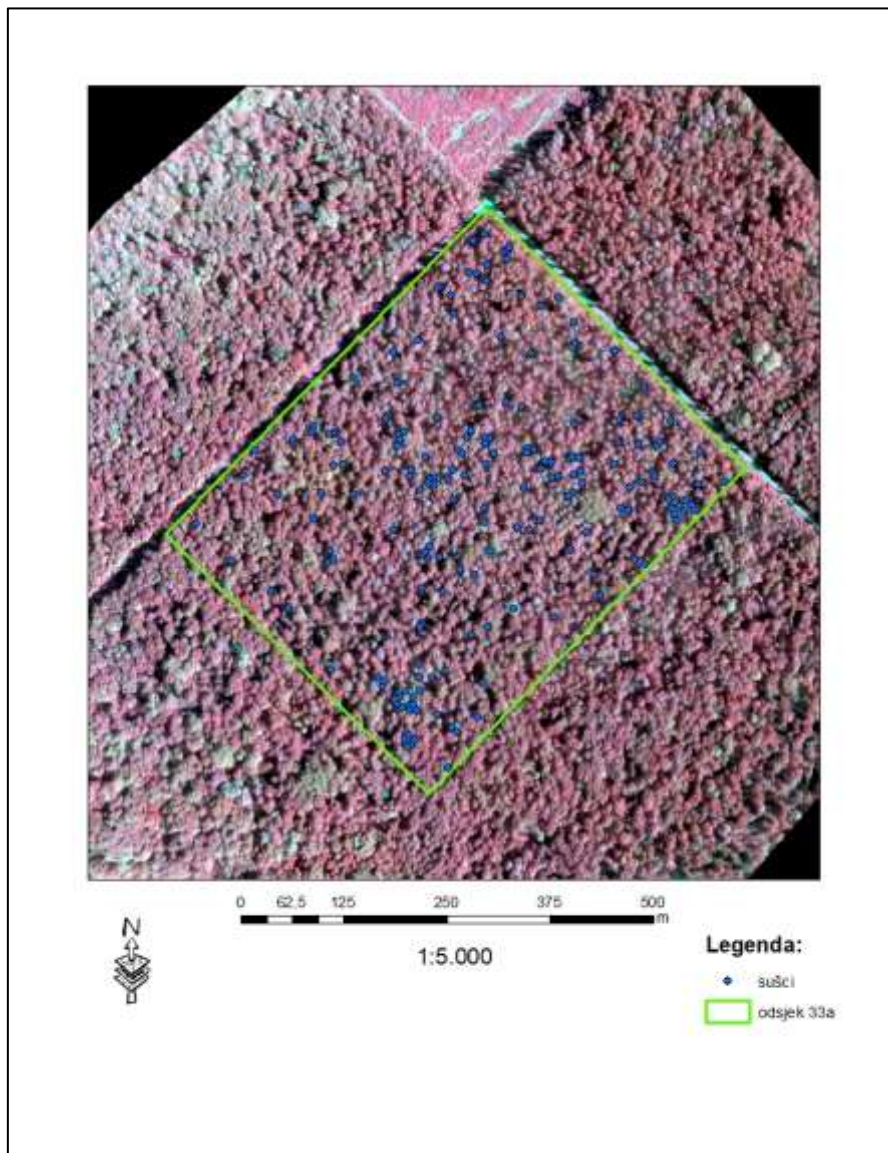
Slika 11. Usporedba rezultata vizualne i digitalne interpretacije aerosnimaka s obzirom na zaraženost sastojina hrasta lužnjaka

Na temelju rezultata provedene vizualne i digitalne interpretacije snimaka, utvrđen je prostorni raspored zaraženih sastojina unutar odsjeka. U odsjeku, na istoj površini, uz hrast lužnjak, dolazi i poljski jasen. Vizualnom interpretacijom, koja se bazira na ekspertnim znanjima, se takva stabla odnosno sastojine (poligoni) mogu izdvojiti detaljnije u odnosu na izdvajanje digitalnom interpretacijom. Budući da je za operativnu primjenu jako važno što prije utvrditi prostorni raspored zaraženih stabala i sastojina, kako bi se moglo pravovremeno

djelovati, te suzbiti zarazu, preporuka je provoditi digitalnu interpretaciju, jer ne zahtjeva ekspertna znanja, a omogućuje brzu i učinkovitu detekciju zaraženih sastojina.

4.2. Rezultati vizualne i digitalne interpretacije snimaka s obzirom na intenzitet propadanja pojedinačnih stabala poljskog jasena

Na temelju provedene vizualne interpretacije ICK aerosnimaka dobiven je prostorni raspored pojedinačnih sušaca poljskog jasena u odsjeku (Slika 12), tj. za svako stablo je dobivena koordinata (Tablica 2), te udio suhih stabala po jedinici površine.



Slika 12. Prostorni raspored sušaca na istraživanom području – vizualna interpretacija

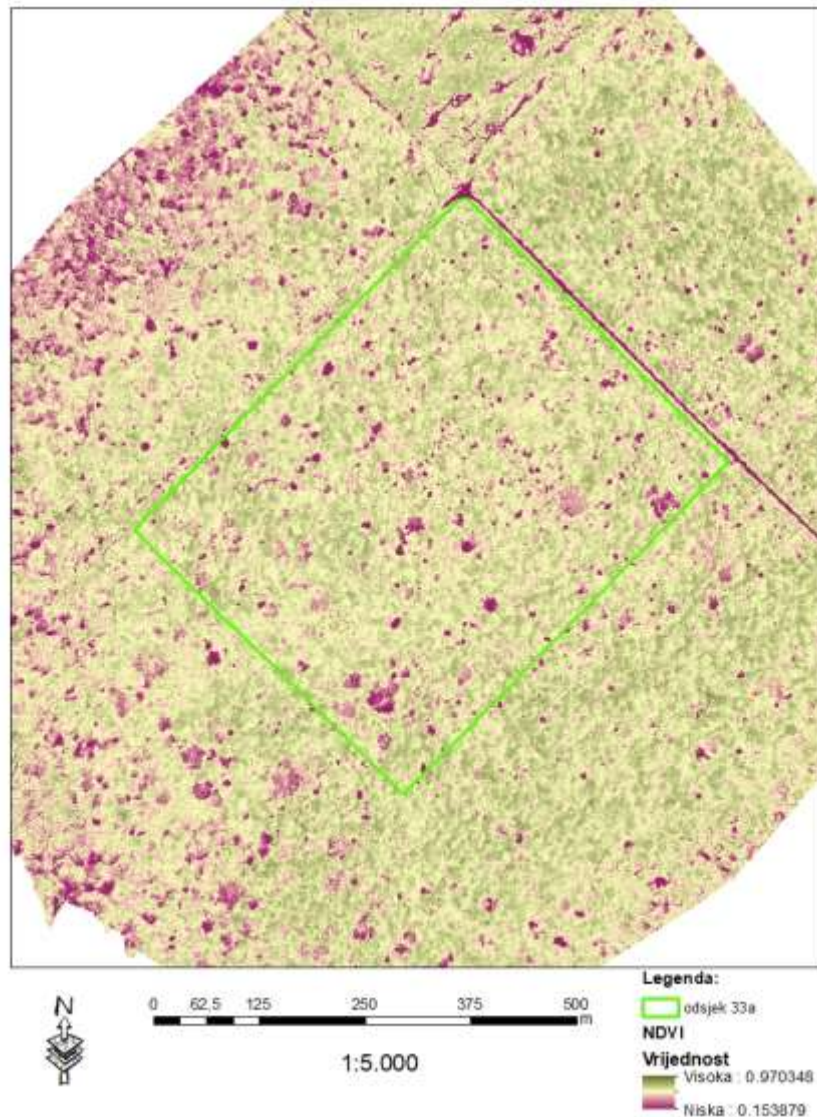
Vizualnom interpretacijom na snimkama izdvojena pojedinačna suha stabla daju nam brzi uvid u prostorni raspored sušaca u odsjeku (Slika 12), te za svako izdvojeno stablo Y i X koordinate (Tablica 2).

U odsjeku 33a, površine 24,7 ha, vizualnom interpretacijom izdvojeno je ukupno 185 sušaca, te njihov udio po jedinici površine iznosi 8 stabala po ha. Međutim, iz slike 12 je vidljivo da izdvojena stabla nisu jednako raspoređena po odsjeku, nego ih najviše ima u središnjem, te južnom i istočnom dijelu odsjeka.

Tablica 2. Baza podataka za svako interpretirano stablo (izvadak)

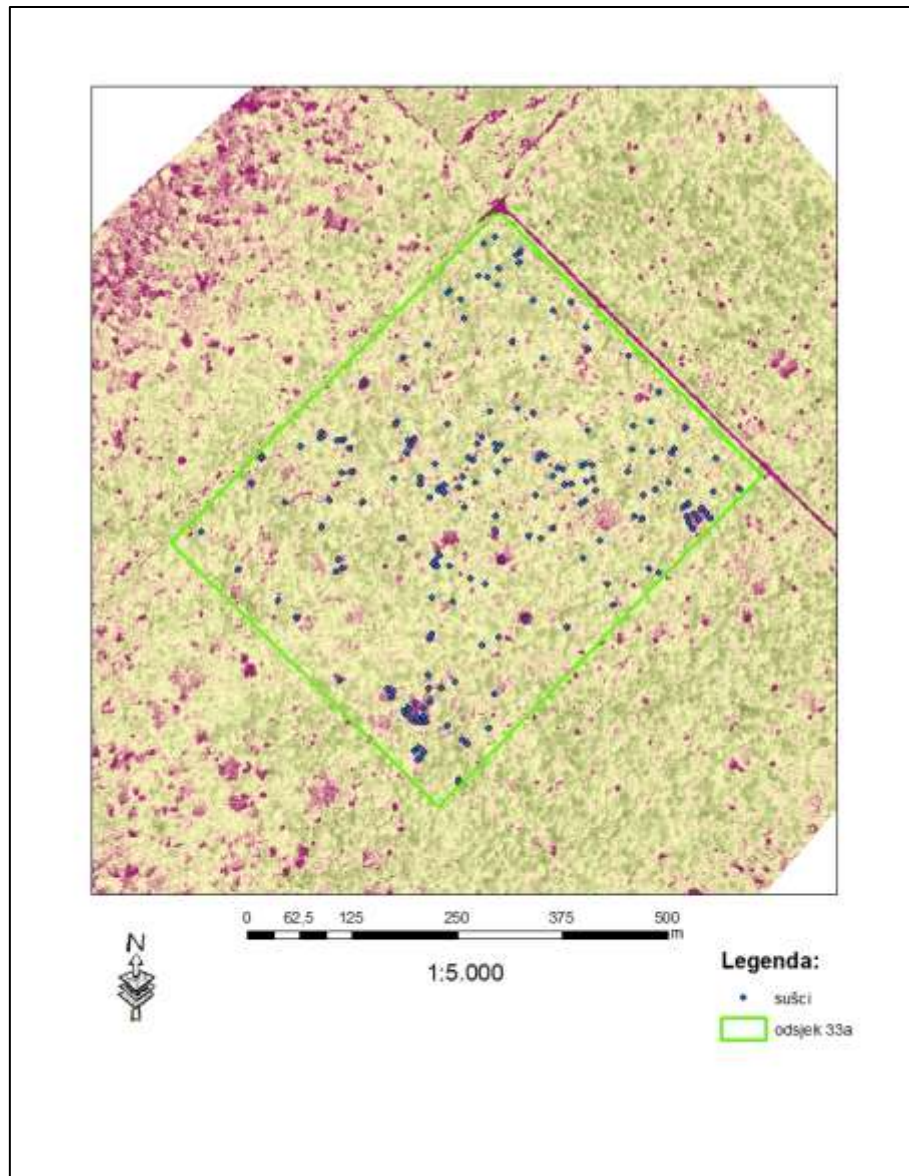
broj stabla	Y	X	broj stabla	Y	X
1	497433	5040914	11	497350	5040881
2	497391	5040936	12	497347	5040878
3	497405	5040943	13	497364	5040870
4	497408	5040907	14	497367	5040847
5	497430	5040923	15	497450	5040869
6	497433	5040926	16	497494	5040867
7	497435	5040929	17	497513	5040836
8	497384	5040898	18	497324	5040816
9	497395	5040896	19	497294	5040801
10	497407	5040888

Digitalnom interpretacijom, tj. izračunom normaliziranih razlikovnih vegetacijskih indeksa (NDVI), su brzo detektirana suha stabla, te je, kao i kod vizualne interpretacije, dobiven njihov prostorni raspored u odsjeku (Slika 13).



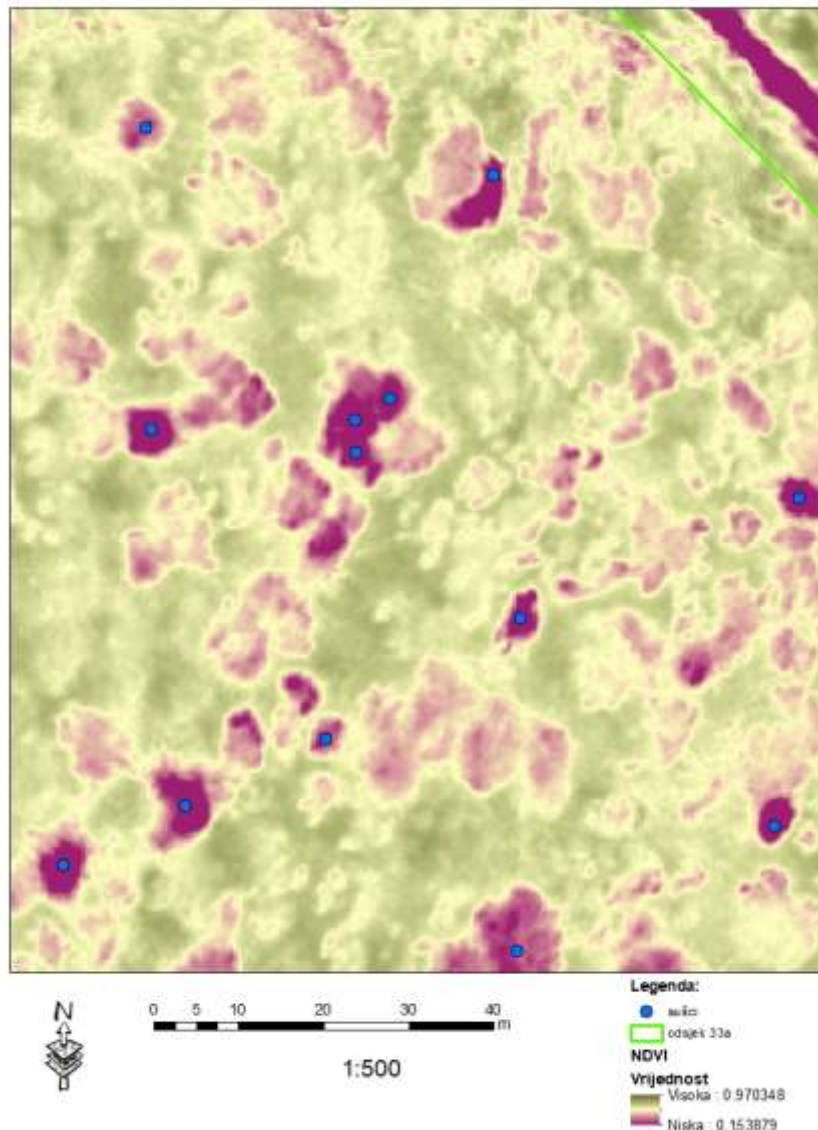
Slika 13. Prostorni raspored sušaca na interpretiranom području – digitalna interpretacija

Na slici 13 se vide jasno izdvojena suha stabla, obojana ljubičasto, što nam ukazuje na niski vegetacijski indeks. Budući da se, ovisno o gustoći zelenog lišća, vegetacijski indeks kreće u rasponu vrijednosti od -1 do 1, gdje vrijednost 0 predstavlja stabla bez zelenog lišća, a vrijednosti veće od 0,8 označavaju stabla sa najvećom gustoćom zelenog lišća, može se zaključiti da su izdvojena stabla u potpunosti bez lišća, tj. suha stabla.



Slika 14. Usporedba rezultata vizualne i digitalne interpretacije aerosnimaka s obzirom na propadanje pojedinačnih stabala poljskog jasena

Usporedbom rezultata digitalne i vizualne interpretacije za isto područje, vidljivo je da su se suha stabla koja su izdvojena automatski, u potpunosti poklopila sa stablima izdvojenim vizualnom interpretacijom (Slika 14).



Slika 15. Usporedba rezultata vizualne i digitalne interpretacije aerosnimaka s obzirom na izdvajanje sušaca poljskog jasena

Također na slici 15 moramo uočiti da se rezultati kod digitalne interpretacije podudaraju površinski (prostorno), dok kod vizualne interpretacije možemo utvrditi i broj suhih stabala.

Na temelju rezultata vizualne i digitalne interpretacije sušaca, utvrđen je njihov prostorni raspored u odsjeku. Rezultat vizualne interpretacije je točan broj sušaca, te za svako stablo utvrđena Y i X koordinata. Digitalnom interpretacijom se dobije brži uvid u prostorni raspored sušaca, međutim potrebno je biti jako oprezan, jer se sušci izdvajaju na temelju digitalnog zapisa, koji je isti (sličan) za sušce, ali i za ostalu suhu vegetaciju (grmlje, visoka suha trava).

Za brzu detekciju sušaca, u operativnoj primjeni, preporuka je koristiti digitalnu interpretaciju, ali za dobivanje točnijih rezultata, nakon digitalne interpretacije, potrebno je provesti i vizualnu interpretaciju kako bi se povećala točnost.

Utvrđeni prostorni raspored sušaca, u operativnoj primjeni, omogućuje brže i efikasnije provođenje mjera koje podrazumijevaju uklanjanje potencijalnih žarišta zaraze, te se tako ublažile posljedice sušenja stabala.

Na temelju dobivenih rezultata i provedenih usporedbi, može se utvrditi da se digitalnom interpretacijom postižu istovjetni rezultati, kao i vizualnom, no, za razliku od digitalne interpretacije, koja se odvija automatski unutar softvera, vizualna interpretacija zahtjeva ekspertna znanja. Sukladno tome, za operativnu primjenu, može se preporučiti korištenje digitalne interpretacije, samim time što postoje preduvjeti za provedbu opisanih postupaka. Naime, firma Hrvatske šume d.o.o. koja brine o državnim šumama, posjeduje bespilotne letjelice, računalnu opremu i programsku podršku, te zaposlene stručnjake koji mogu provoditi opisane postupke, a sve su to preduvjeti brze reakcije za dobivanje nužnih podataka za praćenje, planiranje i predikciju stanja na terenu, kako bi se pravovremenim mjerama smanjile posljedice napada štetnika i patogena, te sastojine održale na optimalnoj razini vitalnosti, te time osiguralo potrajno gospodarenje nizinskim šumama hrasta lužnjaka i poljskog jasena, koji predstavljaju najvrjednija šumska područja Republike Hrvatske.

6. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenog istraživanja sa ciljem brze detekcije zaraženosti i propadanja nizinskih šuma, i dobivenih rezultata vizualne i digitalne interpretacije snimaka, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Vizualna interpretacija daje detaljnije podatke o stanju na terenu no zahtjeva ekspertna znanja i potrebno je više vremena za interpretaciju
- Digitalna interpretacija daje brži uvid u trenutno stanje na terenu, iako ne daje detaljne podatke, bolja je za operativnu primjenu jer ne zahtjeva ekspertna znanja
- Bespilotne letjelice, odnosno metode daljinskih istraživanja nam omogućuju brzi uvid u trenutno stanje zaraženosti sastojina i propadanje stabala (detekcija), i nužne su tehnologije za praćenje promjena i predviđanje budućega stanja šuma uslijed nepogoda uzrokovanih klimatskim promjenama

7. POPIS LITERATURE

- Anić, I. (2001): Uspijevanje i pomlađivanje sastojina poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Posavini, Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Aszalós, R., I. Somodi, K. Kenderes, J. Ruff, B. Czúcz i T. Standovár (2012): European Journal of Forest Research volume 131, pages 1905–1915
- Bakys, R., R. Vasaitis, P. Barklund, K. Ihrmark i J. Stenlid (2009a): Investigations concerning the role of *Chalara fraxinea* in declining *Fraxinus excelsior*, *Plant Pathology*, 58(2), pp. 284–292. doi: 10.1111/j.1365-3059.2008.01977.x.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A. R. (1995): A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* 13, 95–120 3.
- Baret, F. (1995): Use of spectral reflectance variation to retrieve canopy biophysical character. In F. M. Danson, and S. E. Plumer (Eds.), *Advances in environmental remote sensing*.
- Barić, L., M. Županić, M. Pernek i D. Diminić (2012): Prvi nalazi patogene gljivice *Chalara fraxinea* u Hrvatskoj – novog uzročnika odumiranja jasena (*Fraxinus* spp.), *Šumarski List*, 9–10(1), pp. 461–469.
- Bernardinelli, I., P. Zandigiacomo (2000): Prima segnalazione di *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) in Europa. *Informatore Fitopatologico*, 50: 47–49.
- Campbell, J. B. (1996): 'Introduction to remote sensing.' 2nd edn. New York.
- Csóka, G., A. Hirka., M. Somlyai (2013): A tölgy csipkés poloska (*Corythucha arcuata* Say, 1832 – Hemiptera, Tingidae) első észlelése Magyarországon. *Növényvédelem*, 49(7): 293–296
- Dobrev, M., N. Simov, G. Georgiev, P. Mirchev, M. Georgieva (2013): First Record of *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) on the Balkan Peninsula. *Acta zool. bulg.*, 65(3): 409–412
- Donaubauer, E. (1998): Die Bedeutung von Krankheitserregern beim gegenwärtigen Eichensterben in Europa – eine Literaturübersicht. *European Journal of Forest Pathology*. 28: 91–98.
- Forster, B., I. Giacalone., M. Moretti., P. Dioli, B. Wermelinger (2005): Die Amerikanische Eichennetzwanze *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) hat die Südschweiz erreicht. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft Bulletin de la Societe Entomologique Suisse*, 78: 317–323
- Gilabert, M. A., Gandi'a, S., Melia', J. (1996): Analyses of spectral–biophysical relationships for a corn canopy. *Remote Sensing of Environment* 55, 11 – 20.

- Gross, A., O. Holdenrieder, M. Pautasso, V. Queloz i T. N. Sieber (2014): Hymenoscyphus pseudoalbidus, the causal agent of European ash dieback, *Molecular Plant Pathology*, 15(1), pp. 5–21. doi: 10.1111/mpp.12073.
- Hrašovec, B., D. Posarić, I. Lukić, M. Pernek (2013): Prvi nalaz hrastove mrežaste stjenice *Corythucha arcuata* u Hrvatskoj. *Šumarski list*, 9–10: 499–503.
- Kalafadžić, Z., V. Kušan, 1990a: Ustanovljavanje stanja šuma na velikim površinama primjenom ICK aerosnimki. *Glasnik za šumske pokuse*, 26; 447 - 459 str.
- Kirisits, T. (2012): Ash dieback associated with *Hymenoscyphus pseudoalbidus* in forest nurseries in Austria, *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 4(9), pp. 230–235. doi: 10.5897/JAERD12.057.
- Kjær, E. D., L.V. McKinney, L. R. Nielsen, L. N. Hansen i J. K. Hansen (2012): Adaptive potential of ash (*Fraxinus excelsior*) populations against the novel emerging pathogen *Hymenoscyphus pseudoalbidus*, *Evolutionary Applications*, 5(3), pp. 219– 228. doi: 10.1111/j.1752-4571.2011.00222.x.
- Kolić, J., R. Pernar, A. Seletković, M. Ančić (2015): The Importance of CIR Aerial Imagery in Inventory, Monitoring and Predicting Forest Condition // *South-east European forestry*, 6, 2; 191-200 doi:10.15177/seefor.15-18
- Kowalski, T. i O. Holdenrieder (2009a): Pathogenicity of *Chalara fraxinea*, *Forest Pathology*, 39(1), pp. 1–7. doi: 10.1111/j.1439-0329.2008.00565.x.
- Krätler, K. i T. Kirisits (2012): The ash dieback pathogen *Hymenoscyphus pseudoalbidus* is associated with leaf symptoms on ash species (*Fraxinus* spp.), *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 4(9), pp. 261–265. doi:10.5897/JAERD12.065.
- Mas, J. F. i I. Ramirez (1996): Comparison of land use classifications obtained by visual interpretation and digital processing, *ITC Journal*, 3-4, 278 - 283.
- Millward, A. A., C., E. Kraft, D. R. Warren (2010): Ice storm damage greater along the terrestrial – aquatic interface in forested landscapes. *Ecosystems*, 13. 249 – 260.
- Mutun, S. (2003): First report of the oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) from Bolu, Turkey. *Israel Journal of Zoology*, 49(4): 323–324.
- Oluić, M. (2001): Snimanje i istraživanje zemlje iz svemira, HAZU i GEOSAT d.o.o., 516.
- 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): Primjena rezultata interpretacije aerosnimaka i geografskog informacijskog sustava za planiranje u šumarstvu // *Glasnik za šumske pokuse*, 34, 141-189

- Pernar, R. i D. Šelendić (2006): Prilog povećanju interpretabilnosti aerosnimaka i satelitskih snimaka za potrebe uređivanja šuma // Glasnik za šumske pokuse, Posebno izdanje 5, 467-477
- Pernar, R., M. Ančić, A. Seletković, J. Kolić (2020): Važnost daljinskih istraživanja pri procjeni šteta na šumskim sastojinama uzrokovanih velikim prirodnim nepogodama // Gospodarenje šumama u uvjetima klimatskih promjena i prirodnih nepogoda / Anić, Igor (ur.). Zagreb, HAZU, str. 143-160 doi:10.21857/y6zolbrv0m
- Prpić, B. (1996): Propadanje šuma hrasta lužnjaka. U: Klepac, D. (ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i Hrvatske šume, 273–298.
- Prpić, B., Z. Seletković, M. Ivkov (1991): Propadanje šuma u Hrvatskoj i odnos pojave prema biotskim i abiotskim činiteljima danas i u prošlosti. Šumarski list 115 (3–5): 107–129.
- Schumacher, J., R. Kehr i S. Leonhard (2010): Mycological and histological investigations of *Fraxinus excelsior* nursery saplings naturally infected by *Chalara fraxinea*, *Forest Pathology*, 40(5), pp. 419–429. doi: 10.1111/j.1439-0329.2009.00615.x.
- Sun Y., R. E. Dickinson, B. Zhou (2012): Forest greenness after the massive 2008 Chinese ice storm: integrated effects of natural processes and human intervention. *Environmental Research Letters*, 7(3), 7. doi:101088/1748-9326/7/3/035702
- Thomas, F. M., R. Blank, G. Hartmann (2002): Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *For. Path.* 32: 277–307.
- 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.

8. SAŽETAK

Matija Magdić i Mateo Perković

PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA ZA BRZU DETEKCIJU ZARAŽENOSTI I PROPADANJA NIZINSKIH ŠUMA REPUBLIKE HRVATSKE

Klimatske promjene koje se događaju znatno se odražavaju na šumske ekosustave, što utječe na povećanje oštećenosti i propadanja šuma te dovodi do sušenja šuma i šumskih ekosustava. Sušenjem su zahvaćena i najvrjednija šumska područja u Republici Hrvatskoj – nizinske šume hrasta lužnjaka i poljskog jasena. Prioritetni zadatak je locirati zaražene sastojine i pojedinačna stabla primjenom metoda daljinskih istraživanja. Budući da je u što kraćem vremenskom periodu potrebno dobiti uvid u stanje na terenu, područje istraživanja, dio Uprave šuma podružnica Sisak i Zagreb, je snimljeno multispektralnom kamerom pomoću bespilotne letjelice. Za područje istraživanja provedena je vizualna i digitalna interpretacija infracrvenih kolornih aerosnimaka, te na temelju toga je utvrđen prostorni raspored zaraženih sastojina i suhih stabala, intenzitet napada štetnika, te je određena veličina zahvaćene površine i udio suhih stabala po jedinici površine. Na temelju dobivenih rezultata izrađene su tematske karte prostornog rasporeda zaraženih sastojina i suhih stabala. Provedenim istraživanjem je ukazano na prednosti primjene bespilotnih letjelica, odnosno metoda daljinskih istraživanja za brzu detekciju i praćenje stanja šuma kako bi se pravovremeno moglo djelovati, te suzbiti zarazu sastojina, smanjiti propadanje stabala te sastojine održati na optimalnoj razini.

Ključne riječi: bespilotne letjelice, vizualna i digitalna interpretacija snimaka, detekcija sušaca, odumiranje nizinskih šuma

9. SUMMARY

Matija Magdić i Mateo Perković

FAST DETECTION OF INFECTED AND DIEBACK LOWLAND FORESTS IN CROATIA BY UNMANNED AERIAL VEHICLES

Climate change that is occurring has a significant impact on forest ecosystems, which affects the increase of damage and degradation of forests and leads to the drying of forests and forest ecosystems. The drying also affected the most valuable forest areas in the Republic of Croatia - lowland forests of pedunculate oak and field ash. The priority task is to locate infected stands and individual trees by applying remote sensing methods. Since it is necessary to get an insight into the situation in the field as soon as possible, the research area, part of the Forest Administration of the Sisak and Zagreb, was recorded with a multispectral camera using an unmanned aerial vehicle. For the research area, a visual and digital interpretation of infrared color aerial photographs was performed, and based on that, the spatial distribution of infected stands and dry trees, the intensity of pest attacks was determined, and the size of the affected area and the share of dry trees per unit area were determined. Based on the obtained results, thematic maps of the spatial distribution of infected stands and dry trees were made. The research pointed out the advantages of using unmanned aerial vehicles, ie remote sensing methods for rapid detection and monitoring of forest conditions in order to act in a timely manner, and to control stand infestation, reduce tree decay and maintain stands at optimal levels.

Key words: unmanned aerial vehicles, visual and digital interpretation of images, detection of dead trees, dieback of lowland forests