

Primjena daljinskih istraživanja u praćenju opožarenih područja Jadranske Hrvatske

Habijanec, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:775563>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Matija Habijanec

**Primjena daljinskih istraživanja u praćenju opožarenih
područja Jadranske Hrvatske**

Diplomski rad

**Zagreb
2019.**

Matija Habijanec

**Primjena daljinskih istraživanja u praćenju opožarenih
područja Jadranske Hrvatske**

Diplomski rad

predan na ocjenu Geografskom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistra geografije

Zagreb

2019.

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *Geografski informacijski sustavi* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Luke Valožića

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski rad

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geografski odsjek

Primjena daljinskih istraživanja u praćenju opožarenih područja Jadranske Hrvatske

Matija Habijanec

Izvadak: U ovom radu je na temelju Landsat snimka izrađen skup podataka koji prostorno i vremenski opisuje sva opožarena područja Jadranske Hrvatske u razdoblju od 1. svibnja do 30. listopada za svaku godinu u razdoblju od 1985. do 2018. Nakon utvrđivanja metodologije obrade i klasifikacije podataka na temelju spektralnih karakteristika opožarenih područja, analizirana su opožarena područja prema zemljišnom pokrovu, administrativnim jedinicama, reljefu i klimatskim elementima. Također je određena međusezonska i unutarsezonska varijabilnost pojave opožarenih područja. Dobiveni rezultati su uspoređeni s terenskom procjenom vatrogasaca te s FireCCI51 i GABAM klasifikacijama požara.

66 stranica, 28 grafičkih priloga, 21 tablica, 37 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: Landsat, opožarena područja, Jadranska Hrvatska, klasifikacija, zemljišni pokrov

Voditelj: doc. dr. sc. Luka Valožić

Povjerenstvo: doc. dr. sc. Luka Valožić
izv. prof. dr. sc. Aleksandar Toskić
doc. dr. sc. Dubravka Spevec

Tema prihvaćena: 10. 1. 2019.

Rad prihvaćen: 12. 9. 2019.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Master Thesis

Faculty of Science

Department of Geography

Application of remote sensing in monitoring burnt areas in Adriatic Croatia

Matija Habijanec

Abstract: In this thesis spatial and temporal database for burnt areas of Adriatic Croatia was developed for period between May 1 and October 30 of each year from 1985 to 2018. Methodology for data processing and image classification was developed based on spectral properties of burnt areas. Burnt areas were investigated for different types of land cover, administrative areas, relief and climate elements. Temporal variations of burnt area occurrence between seasons and inside seasons was also investigated. Data generated in this thesis was compared to burnt area assessment given by firefighters as well as FireCCI51 and GABAM burnt area classifications.

66 pages, 28 figures, 21 tables, 37 references; original in Croatian

Keywords: Landsat, burnt area, Adriatic Croatia, classification, land cover

Supervisor: Luka Valožić, PhD, Assistant Professor

Reviewers: Luka Valožić, PhD, Assistant Professor
Aleksandar Toskić, PhD, Associate Professor
Dubravka Spevec, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 10/01/2019

Thesis accepted: 12/09/2019

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
1.1. Ciljevi rada.....	2
1.2. Dosadašnja istraživanja.....	2
2. Zemljišni pokrov Jadranske Hrvatske	4
3. Metodologija detekcije opožarenih područja	9
3.1. Spektralne karakteristike opožarenih područja	9
3.2. Karakteristike Landsat senzora	14
3.3. Klasifikacija opožarenih područja	18
3.4. Obrada podataka	30
4. Rezultati istraživanja.....	34
4.1. Pregled požarnih sezona	34
4.2. Požari prema administrativnom ustroju	37
4.3. Zemljišni pokrovi zahvaćeni požarima	40
4.4. Reljef i požari.....	44
4.5. Klimatološke značajke	47
5. Rasprava	49
5.1. Referentni podaci o požarima	49
5.2. Provjera točnosti	51
6. Zaključak.....	60
Literatura	61
Izvori podataka	65
Popis slika.....	I
Popis tablica.....	II
Prilozi	III

Kratice korištene u ovom radu

BIC	<i>Blisko infracrven</i> , dio EM spektra u rasponu između 0,7 i 1,4 μm
CCI	<i>Climate Change Initiative</i> , projekt kojeg vodi ESA s ciljem praćenja klimatskih promjena pomoću daljinskih istraživanja
CORINE	<i>Coordination of Information on the Environment Land Cover</i> , baza podataka o zemljišnim pokrovima izrađena za veći dio Europe
DUZS	<i>Državna uprava za zaštitu i spašavanje</i>
EM	<i>Elektromagnetsko</i> , najčešće se odnosi na EM spektar
ESA	<i>Europska svemirska agencija</i>
GABAM	<i>Global annual burned area map</i> , podaci o opožarenim područjima izrađeni na temelju istraživanja koje su proveli Long i dr. (2018)
GV	<i>Granične vrijednosti</i> , odnosi se na sloj GV koji je prvi temelj za izradu SOP sloja
JH	<i>Jadranska Hrvatska</i> , glavno područje istraživanja
KIC	<i>Kratkovalno infracrven</i> , dio EM spektra u rasponu između 1,4 i 3 μm
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i> , senzor koji se međuostalom koristi i za određivanje opožarenih površina
NKS	Nacionalna klasifikacija staništa Republike Hrvatske
NBR2	<i>Normalized burn ratio 2</i> , jedan od temelja za dobivanje GV sloja
NBR	<i>Normalized burn ratio</i> , jedan od temelja za dobivanje GV sloja
NDVI	<i>Normalized difference vegetation indeks</i> , jedan od temelja za dobivanje GV sloja
FireCCI51	Podaci o opožarenim područjima izrađeni na temelju CCI projekta
SOP	<i>Sezonska opožarena područja</i> , rezultat procesa klasifikacije vlastitog istraživanja za jednu požarnu sezonu
USNK	<i>Ukupna sezonska nadzirana klasifikacija</i> , drugi temelj za izradu SOP sloja
USOP	<i>Ukupna sezonska opožarena područja</i> , rezultat spajanja svih SOP slojeva, predstavlja sve opožarene površine određene vlastitim istraživanjem
USGS	<i>United States Geological Survey</i> , održava najveću bazu Landsat snimaka
VOS	<i>Vatrogasno operativno središte</i> , može se odnositi i na referentne podatke o požarima dobivene od VOS-a
P	Površina
λ	Valna duljina

1. Uvod

Daljinska istraživanja definiraju se kao skup metoda prikupljanja podataka o prostoru pomoću uređaja koji nije u izravnom kontaktu s prostorom koji se istražuje (Lillesand, Kiefer i Chipman, 2015). Primjenjuju se u brojnim znanstvenim granama i disciplinama kao pomoćno ili glavno sredstvo pronalaska i analiza pojava u prostoru ponajprije pomoću satelitskih snimaka ili aerofotogrametrije. Požari su jedna od pojava koje izuzetno izmjenjuju prostor te često uzrokuju materijalnu štetu. Područje Jadranske Hrvatske često se spominje u kontekstu problema s požarima te je stoga odabrano kao prostor u kojem će se provesti ovo istraživanje. Jadranska Hrvatska (JH) definirana je kao NUTS 2 regija koja obuhvaća prostor Istarske, Primorsko-goranske, Ličko-senjske, Zadarske, Šibensko-kninske, Splitsko-dalmatinske te Dubrovačko-neretvanske županije.

Utvrđivanje opožarenih površina pomoću GIS-a omogućuje određivanje prostorne distribucije požara. Također je moguće utvrđivanje zemljišnih pokrova, tipova reljefa, područja s određenima klimatskim značajkama ili administrativnih jedinica koje su najviše zahvaćene požarima. Pomoću datuma detekcije svakog opožarenog područja moguće je utvrditi godine najvećih požara ili varijacije pojavnosti požara prema danima ili mjesecima u godini. Navedene informacije mogu znatno pridonijeti u postupcima sprječavanja požara, analizama zemljišnih pokrova i ekosustava, istraživanju klimatskih promjena ili drugih pojava koje su uzročno ili posljedično povezane sa požarima.

U ovom radu će se opožarena područja utvrditi klasifikacijom Landsat snimaka. Metodologija klasifikacije opožarenih područja će se odrediti na temelju spektralnih svojstva i vizualne interpretacije. Cijeli proces obrade podataka će biti potrebno automatizirati zbog velike količine podataka. Nakon toga će biti moguće utvrđivanje prostorne i vremenske distribucije požara. Prostorna distribucija požara će biti određena na temelju zonalne statistike područja sa zajedničkim obilježjima zemljišnog pokrova, reljefa, klime i administrativnih jedinica. Iako društveno-geografski čimbenici poput gustoće naseljenosti također uvjetuju pojavu požara (Pavlek i dr., 2017), oni se u ovom radu neće detaljnije analizirati.

1.1. Ciljevi rada

Cilj ovog rada je klasifikacija opožarenih područja Jadranske Hrvatske u razdoblju od 1985. do 2018. pomoću metoda i postupaka daljinskih istraživanja uz korištenje Landsat snimaka. Idući cilj je utvrditi varijacije opožarenih površina unutar i između godišnjih razdoblja, zatim ustanoviti tipove zemljišnog pokrova, reljefa i klimatskih elemenata te općine i županije koje su najviše pogođene požarima. Konačni cilj je usporediti dobivene podatke o opožarenoj površini s drugim izvorima.

1.2. Dosadašnja istraživanja

Prvi pokušaji korištenja daljinskih istraživanja za praćenje požara bili su 60-ih godina 20. stoljeća kada su se zračne snimke snimane u infracrvenom dijelu spektra koristile za uočavanje vatre (Chuvieco i Congalton, 1988). Dvije godine nakon lansiranja prvog Landsat satelita 1972. godine, Hitchcock i Hoffer iznose prvi značajniji znanstveni rad u kojem se koriste satelitske snimke za detekciju požara (Hitchcock i Hoffer 1974 prema Chuvieco i dr. 2019).

Sporija obrada rasterskih podataka 1970-ih i 1980-ih znatno je otežavala globalno praćenje požara pomoću Landsat senzora. Većina radova koji su se bavili praćenjem požara globalno ili na većem prostoru koristili su podatke vrlo velike prostorne rezolucije (1km i više), dok su radovi koji su koristili podatke Landsat senzora (prostorne rezolucije od 60 ili 30 metara) imali područje istraživanja do nekoliko stotina četvornih kilometara. Za globalne ili studije većih prostornih obuhvata, 1980-ih koristio se ponajprije senzor AVHRR (Matson i dr. 1984; Muirhead i Cracknell 1985; Malingreau i dr. 1985; Flannigan 1985; Flannigan i Vonder Haar 1986; Malingreau i Tucker 1987; Pereira 1988; Setzer i dr. 1988 prema Robinson 1988). Za studije većih prostora se 1990-ih također koristi AVHRR senzor (Justice i dr., 1996; Roy i dr. 1999), a krajem tog desetljeća Kaufman i dr. (1998) pišu rad o značaju MODIS senzora za globalno praćenje požara. Na temelju podataka MODIS senzora izrađuju se algoritmi za globalno praćenje požara. Najznačajniji projekt za globalno praćenje opožarenih površina je *Fire_cci* (Chuvieco i dr., 2018), a u ovom radu će se koristiti njegov skup podataka FireCCI51.

Uvođenje TM senzora na Landsatu 4 i 5 80-ih godina 20. stoljeća dovodi do značajnog poboljšanja u prostornoj i spektralnoj rezoluciji (tab. 4). Prvi rad koji je koristio isključivo TM senzor za određivanje opožarenih područja pišu Chuvieco i Congalton (1988), a isti

autori kasnije (1989) pišu i rad u kojem koriste GIS kako bi odredili područja rizika od požara.

Sljedećih desetljeća nastaju brojni radovi koji koriste podatke Landsat senzora (White i dr. 1996; Salvador i dr. 2000; Hudak i Brockett 2004; Lentile i dr. 2006; Lozano, Suarez-Seoane i de Luis 2006; Kontoes i dr. 2009; Bastarrika, Chuvieco i Pilar Martin 2010).

Posljednjih deset godina dolazi do razvoja *cloud computing* servisa namijenjenih za daljinska istraživanja što značajno olakšava pripremu i obradu podataka. Tako primjerice *Google Earth Engine* (Gorelick i dr. 2017) omogućava jednostavan pristup i brzu obradu Landsat, Sentinel, MODIS i drugih optičkih i radarskih podataka. Long i dr. (2018) koriste *Earth Engine* kako bi izradili globalni skup podataka opožarenih područja za 2015. godinu temeljen na podacima Landsat OLI senzora.

Osim Landsat i MODIS satelita, važnu ulogu u praćenju opožarenih područja imaju i Sentinel-2 sateliti čije su snimke dostupne od sredine 2015. godine. Sentinel-2 sateliti su po karakteristikama spektralnih kanala najbliži Landsat satelitima uz poboljšanu prostornu rezoluciju u određenim kanalima i vremensku rezoluciju od pet dana. Na temelju Sentinel-2 snimaka izrađen je skup podataka FireCCISFD11 (Roteta i dr., 2019) koji prikazuje sva opožarena područja subsaharske Afrike 2016. godine te ima prostornu rezoluciju od 20 m.

Verhegghen i dr. (2016) su uz pomoć Sentinel-2 i Sentinel-1 senzora odredili opožarena područja u Kongu. Tu je posebno zanimljivo korištenje Sentinel-1 radarskog senzora koji omogućava detekciju opožarenih područja i za oblačnog vremena, što kod optičkih senzora nije moguće.

Potrebno je istaknuti i projekt USGS-a u kojem su klasificirane sve opožarene površine za Sjedinjene Američke Države. Klasifikacija je provedena na temelju Landsat satelita, a njezin konačan produkt nazvan *Burned Area Essential Climate Variable* (BAECV) sadrži podatke za sva opožarena područja od 1984. do kraja 2017. godine (Hawbaker i dr., 2017).

Od radova koji se bave požarima na prostoru Jadranske Hrvatske, potrebno je istaknuti diplomski rad *Geografska analiza rizika od požara u Srednjoj Dalmaciji* (Netolicki, 2011). Također je važan rad koji se bavi povezivanjem učestalosti i površine požara s društvenim, ekonomskim i fizičko geografskim čimbenicima za Šibensko-kninsku i Splitsko-dalmatinsku županiju (Pavlek i dr., 2017).

2. Zemljišni pokrov Jadranske Hrvatske

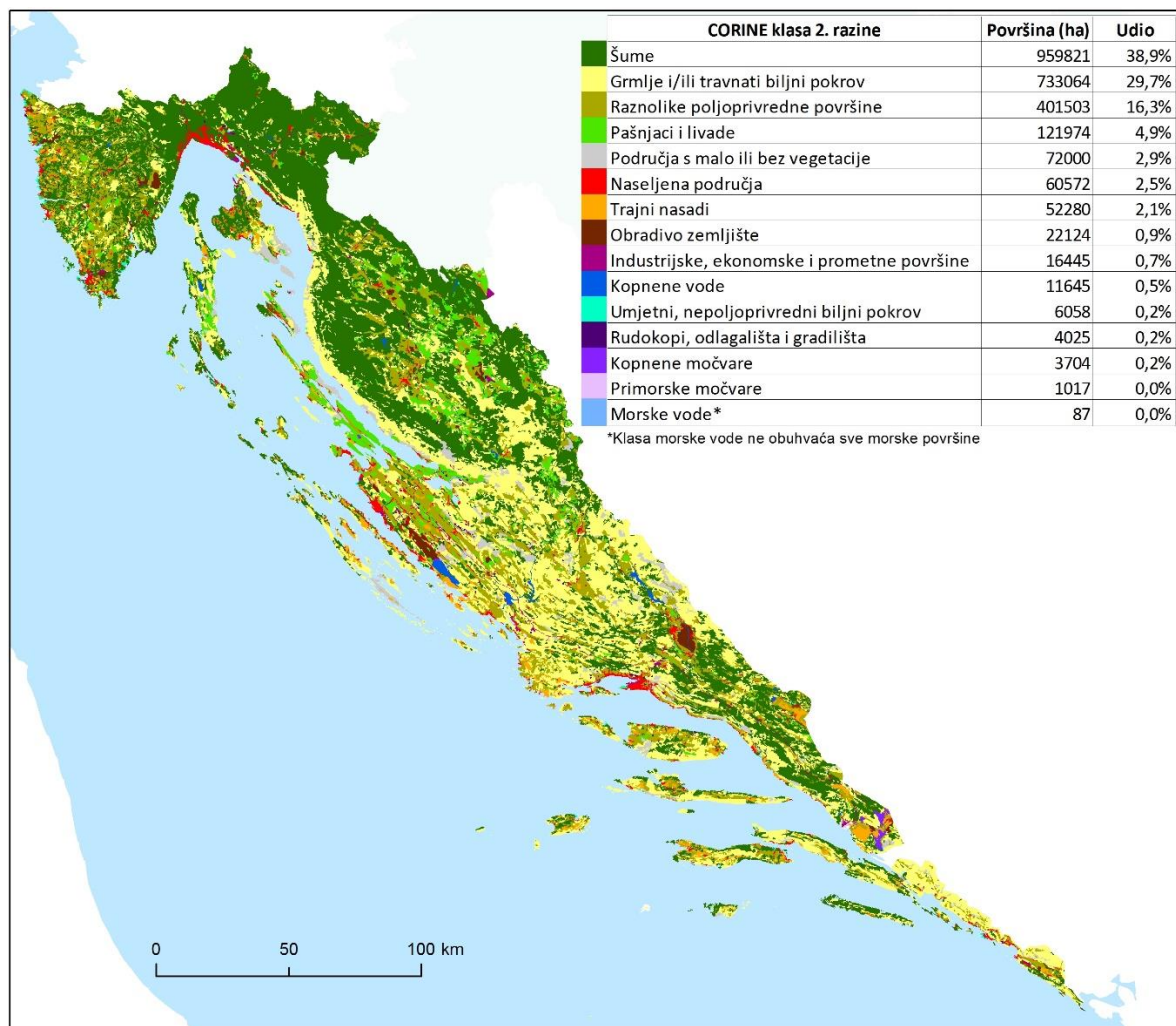
Glavna značajka koja utječe na povećanje opožarenih prostora nekog područja su promjene u načinu korištenja zemljišta (Chuvieco, 1999). Promjene u zemljišnom pokrovu dakle ne moraju biti samo posljedica požara, već i doprinose njihovom nastanku. Ako se pretpostavi kako će određeni tip zemljišnog pokrova biti podložniji požaru, onda će prelazak iz nekog drugog tipa pokrova u taj pokrov povećati rizik od požara. Stoga je potrebno razumijevanje sustava klasifikacije zemljišnog pokrova te prevladavajućih pokrova u JH kako bi se mogla utvrditi njihova funkcija u pojavnosti požara.

Jedna od brojnih mogućnosti daljinskih istraživanja je određivanje zemljišnog pokrova na temelju satelitskih ili zračnih snimki. Najznačajniji europski projekt klasifikacije zemljišnog projekta je CORINE (*Coordination of Information on the Environment Land Cover*) koji se temelji na klasifikaciji Landsat, SPOT i ostalih satelitskih snimaka za dobivanje klasa zemljišnog pokrova. Baze podataka zemljišnog pokrova izrađene su za godine 1980., 1990., 2000., 2006., 2012. i 2018. godinu. Tipovi zemljišnog pokrova podijeljeni su na tri razine s obzirom na detaljnost prikaza te na trećoj razini imaju 44 klase (tab. 1) s najmanjom jedinicom kartiranja od 25 ha.

Za Hrvatsku je također značajna i Karta nešumskih staništa iz 2016. godine (Bardi i dr. 2016). Ona je izrađena na temelju interpretacije satelitskih i zračnih snimka te terenskom provjerom točnosti podataka. Prema osnovnoj podjeli Nacionalne klasifikacije zemljišta postoji 10 glavnih klasa, a kasnije je pridodana i klasa kompleksnih staništa. Cijela karta ima ukupno 155 tipova staništa (tab. 2) s najmanjom jedinicom kartiranja od 1,56 ha iz čega se može zaključiti kako bi ona trebala bolje prikazivati detalje od CORINE baze podataka. Točnosti karte bi trebala pridonijeti i činjenica kako je 22 % poligona terenski provjereno. Na sl. 2 se može vidjeti udio i podjela na 10 osnovnih klasa (klasa podzemlje nije prikazana na karti) te njihov udio u ukupnoj površini JH.

Iako će se u ovom radu koristiti osnovne klase NKS-a i 2. razina CORINE klasifikacije, potrebno je razumjeti cjelokupnu klasifikaciju (tab. 1 i 2) uključujući i podklase koje čine osnovne klase kako bi se uspješno interpretirali rezultati.

Jedan od glavnih problema klasifikacije zemljišta je određivanje klasa kod površina koje su u prijelaznoj fazi poput primjerice šuma koje degradacijom prelaze u šikare ili kod zapuštenih poljoprivrednih površina te se zbog toga neke površine miješanih tipova pokrova svrstavaju u vlastitu klasu. Ako se zanemari razlika u godini nastanka karte, usporedbom klase šuma prema prvoj razini CORINE 2018 klasifikacije (sl. 1) i osnovnoj klasi NKS klasifikacije (sl. 2) može se zaključiti kako je njihova ukupna površina znatno veća prema NKS klasifikaciji, no treba napomenuti kako se prema CORINE klasifikaciji šume u zarastanju svrstavaju drugu klasu, tako da treba biti oprezan pri izravnom uspoređivanju klasa različitih sustava klasifikacije zemljišta.



Sl. 1. Karta prostora JH prema CORINE 2018 klasama 2. razine
Izvor: Izradio autor na temelju prostornih izvora Copernicus

Tab. 1. CORINE klasifikacija

Razina 1	Razina 2	Razina 3	
Umjetne površine	Naseljena područja	Cjelovita izgrađena područja	
		Djelomično izgrađena područja	
	Industrijske, ekonomske i prometne površine	Industrijska i komercijalna područja	
		Ceste, pruge i pripadajuća zemljišta	
		Luke i pripadajuća zemljišta	
		Zračne luke	
	Rudokopi, odlagališta i gradilišta	Rudokopi	
		Odlagališta	
		Gradilišta	
	Umjetni, nepoljoprivredni biljni pokrov	Zelene gradske površine	
Sportski i rekreacijski objekti			
Poljoprivredna područja	Obradivo zemljište	Nenavodnjane obradivo zemljište	
		Trajna navodnjavano obradivo zemljište	
		Polja riže	
	Trajni nasadi	Vinogradi	
		Voćnjaci i plantaže	
		Maslinici	
	Pašnjaci i livade	Pašnjaci i livade	
	Raznolike poljoprivredne površine	Jednogodišnji i višegodišnji usjevi	
		Složeni uzorak usjeva	
		Poljoprivredo zemljište uz značajni udio prirodne vegetacije	
		Poljoprivredno-šumska područja	
	Šume i poluprirodna područja	Šume	Bjelogorična šuma
			Crnogorična šuma
Miješana šuma			
Grmlje i/ili travnati biljni pokrov		Prirodni travnjaci	
		Vrištine, cretovi i niske šikare	
		Mediteranska grmolika vegetacija	
		Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)	
Područja s malo ili bez vegetacije		Plaže, dine i pijesci	
		Ogoljena područja	
		Područja s oskudnom vegetacijom	
		Izgorjele površine	
		Glečeri i trajni snijeg	
Močvarna područja		Kopnene močvare	Kopnene močvare
	Tresetišta		
	Primorske močvare	Slane močvare	
		Solane	
Vode	Kopnene vode	Vode tekućice	
		Vode stajaćice	
	Morske vode	Obalne lagune	
		Estuariji	
		More	

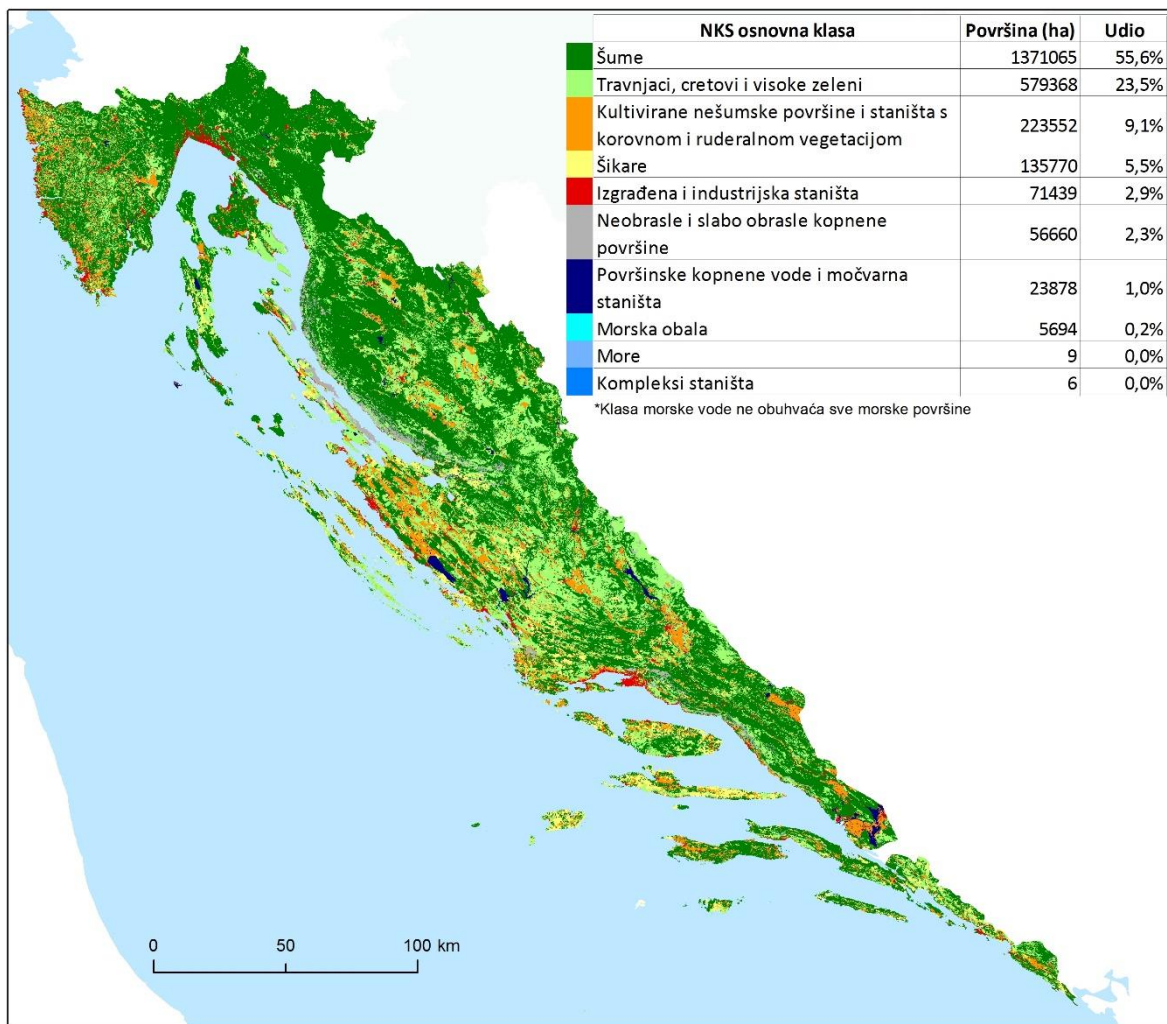
Izvor: Copernicus, preveo i uredio autor

Tab. 2. NKS klasifikacija

Razina 1	Razina 2
Površinske kopnene vode i močvarna staništa	Stajačice
	Tekučice
	Hidrofitska staništa slatkih voda
	Obrasle obale površinskih kopnenih voda i močvarna staništa
Neobrasle i slabo obrasle kopnene površine	Neobrasle i slabo obrasle stijene
	Točila
	Požarišta
Travnjaci, cretovi i visoke zeleni	Erodirane površine
	Cretovi
	Higrofilni i mezofilni travnjaci
	Suhi travnjaci
	Rudine
Šikare	Visoke zeleni
	Kontinentalne šikare
	Pretplaninske šikare
	Mediteranske šikare
Šume	Šikare alohtonog grmlja
	Priobalne poplavne šume vrba i topola
	Poplavne šume hrasta lužnjaka, crne johe i poljskog jasena
	Šume listopadnih hrastova izvan dohvata poplava
	Brdske bukove šume
	Bukovo-jelove šume
	Pretplaninske bukove šume
	Kontinentalne crnogorične šume
	Primorske vazdazelene šume i makije
Antropogene šumske sastojine	
Morska obala	Muljevita morska obala
	Pjeskovita morska obala
	Šljunkovita morska obala
	Stjenovita morska obala
	Antropogena staništa morske obale
More	Pelagijal
	Mediolitoral
	Infralitoral
	Čirkalitoral
	Batijal
Podzemlje	Kraške špilje i jame
	Nekraške špilje i jame
	Intersticijska podzemna staništa
	Antropogena podzemna staništa
Kultivirane nešumske površine i staništa s korovnom i ruderalnom vegetacijom	Površine obrasle korovnom i ruderalnom vegetacijom
	Mozaične kultivirane površine
	Intenzivno obrađivane oranice na komasiranim površinama
	Višegodišnje zeljaste kulture
	Voćnjaci, vinogradi i maslinici
	Proizvodni vrtovi i rasadnici
Izgrađena i industrijska staništa	Međe i ograde kultiviranih površina
	Neproizvodne kultivirane zelene površine
	Sela
	Gradovi
	Ostale izgrađene negospodarske površine
Kompleksi staništa	Gospodarske površine
	Umjetna vodena staništa bez poluprirodnih zajednica biljaka i životinja

Izvor: HAOP, uređio autor

Uzevši u obzir oba sustava klasifikacije, može se zaključiti kako su u Istri zastupljeni raznoliki tipovi pokrova koji se stalno izmjenjuju bez dominantnog tipa pokrova osim kod Učke i Ćićarije gdje dominiraju šume, što također vrijedi i za okolicu Rijeke te Gorski Kotar. Na prostoru Like su šume također vrlo zastupljene i to ponajprije u područjima Velebita i Plješevice dok između njih dominiraju travnjaci i grmlje sa manjim udjelom poljoprivrednih površina. Na području sjevernog dijela Dalmacije dominiraju zajednice grmlja i travnjaka uz poljoprivredna zemljišta na području Ravnih kotara. Također je uočljiv je vrlo mali udio šuma na ovim prostorima. Šume su zastupljenije na području između Splita i Metkovića, a južnije ponovo dominiraju zajednica trava i grmlja što je također slučaj i kod većine otoka. Posebno je zanimljiv otok Korčula na kojem prema CORINE klasifikaciji dominiraju zajednice grmlja, dok su prema NKS klasifikaciji to šume pa se stoga vjerojatno radi o prijelaznim tipovima zaraslih šuma i šikara.



Sl. 2. Karta prostora JH prema NKS osnovnim klasama
Izvor: izradio autor na temelju karte stanište preuzete sa WFS servera NIPP-a

3. Metodologija detekcije opožarenih područja

3.1. Spektralne karakteristike opožarenih područja

Daljinskim istraživanjima mogu se uočiti četiri različite pojave uzrokovane požarima (Robinson 1991 prema Chuvieco 1999):

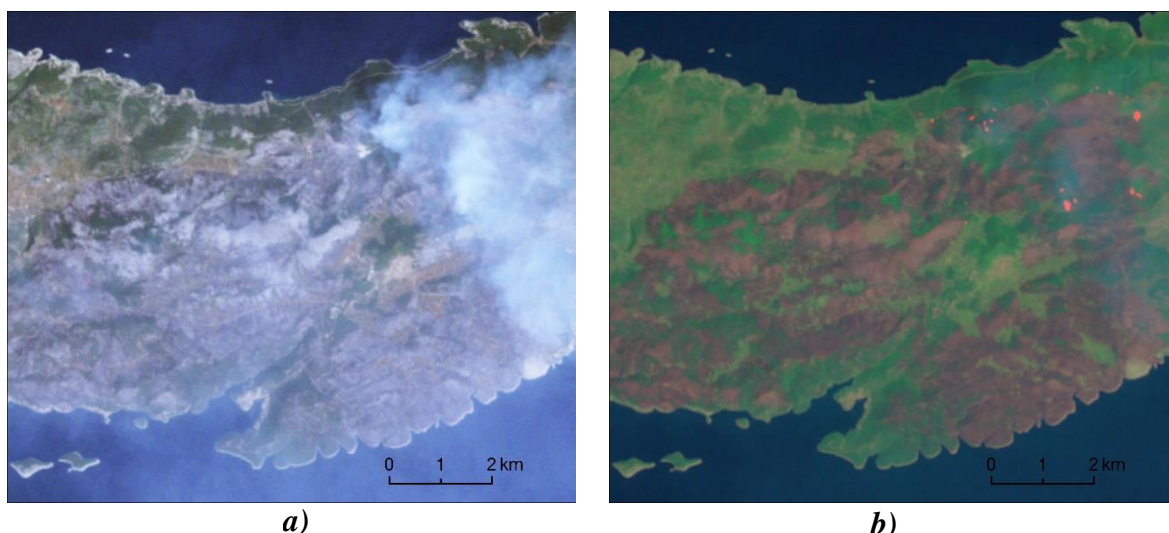
1) Požari koji su aktivni u trenutku snimanja. Aktivna vatra emitira najviše radijacije u rasponu valnih duljina između 3 i 5 μm (Richards i Jia, 2006). Iako Landsat senzori ne proučavaju taj dio spektra, požari se i dalje mogu dobro uočiti u infracrvenim (sl. 3b) ili termalnim dijelovima spektra koje Landsat proučava. Međutim, Landsat snimke korištene u ovom radu se zbog vremenske rezolucije od 16 dana ne mogu koristiti za detaljno praćenje razvoja požara. Za takve potrebe povoljnija je aerofotogrametrija, ponajprije korištenje bespilotnih letjelica s termalnim kamerama. Razvoj velikih požara koji traju više dana se može pratiti sustavima veće vremenske rezolucije, poput MODIS senzora na Terra i Aqua satelitima.

2) Dim koji se širi kao posljedica aktivnog požara. On može biti uočljiv na velikim udaljenostima te otežava klasifikaciju već opožarenih područja (sl. 3a). Ipak, moguća je detekcija opožarenih područja ispod jer dim uglavnom propušta elektromagnetsko (EM) zračenje 5. 6. i 7. kanala TM senzora (sl. 3b).

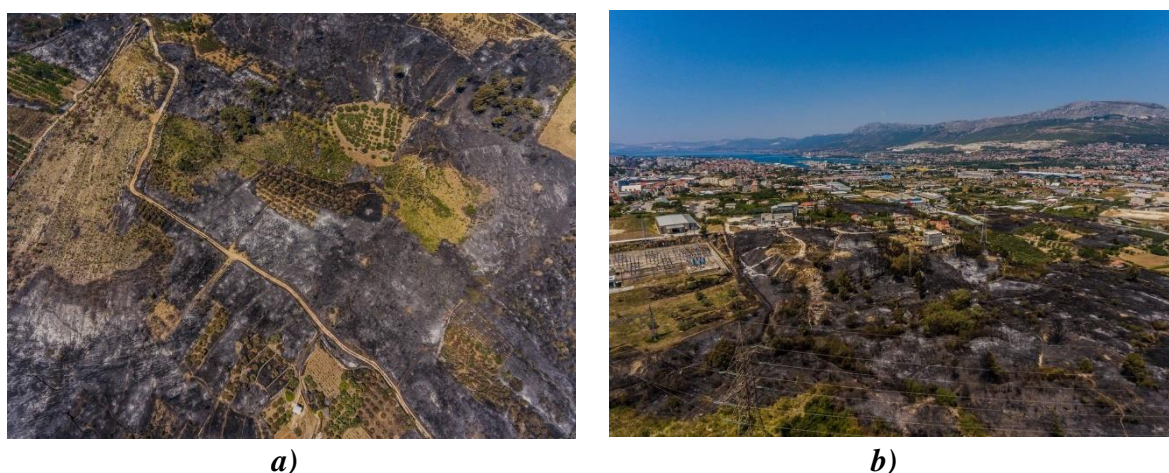
3) Pepeo i drveni ugljen nastao kao posljedica požara. On se na opožarenim područjima zadržava određeno vrijeme (sl. 4a i 4b). Takva područja se mogu vrlo dobro uočiti na satelitskim snimkama jer predstavljaju kontrast ostaloj vegetaciji.

4) Tokom vremena smanjuje se udio pepela i drvenog ugljena te ostaje samo područje smanjenog intenziteta vegetacije. Kada šumski pokrov izgori ta se područja mogu uočiti duže vrijeme nakon požara, no ona se teško mogu razlikovati od područja kod kojih je vegetacija uništena deforestacijom. Tipovi zemljišnog pokrova poput primjerice suhe trave se nakon požara mogu vrlo brzo obnoviti pa se posljedice požara mogu uočiti samo kraći period nakon požara.

S obzirom da je cilj analize provedene u ovom radu utvrđivanje opožarenih područja, aktivna vatra i dim se neće promatrati.



Sl. 3. Opožarena područje Korčule, u vidljivom (a) i infracrvenom (b) dijelu EM spektra Landsat 5 TM, 14. 8. 1998., RGB kompozicija: 3 2 1 (a) i 7 4 2 (b)



Sl. 4. Opožarena područja u blizini Splita nedugo nakon požara, 19. 7. 2017.
Izvor: Zvonimir Barišin / CROPIX

Kako bi se opožarena područja mogla uspješno klasificirati, potrebno je razumjeti spektralna svojstva takvih područja koja ovise o više međusobno povezanih čimbenika:

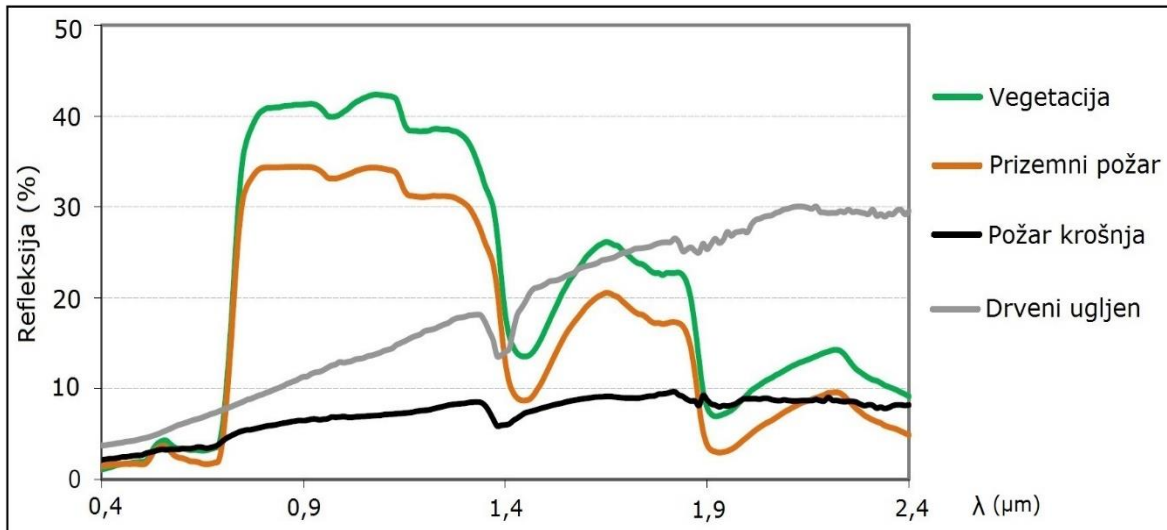
1) Zemljišni pokrov ima važnu ulogu u određivanju spektralnih karakteristika opožarenog područja. Na sl. 6. se mogu vidjeti razlike između opožarenih područja šume, suhe trave i grmlja.

2) Stratifikacija požara određuje prostor vegetacije kojeg je zahvatila vatra. Chuvieco i dr. (2019) navode kako se požari mogu podijeliti na požare koji obuhvaćaju krošnje drveća, prizemne požare te na požare podzemlja. Jasno je da su posljedice požara podzemlja i požara prizemnih dijelova šuma teže uočljive na satelitskim snimkama.

3) Intenzitet požara određuje udio vegetacije koja je izgorjela na prostoru kojeg je zahvatio požar. Tako je primjerice moguće da je u šumi koju je zahvatio požar dio stabala u potpunosti izgorio dok je kod drugih izgorio samo dio krošnje. Procijenjene stupnja opožarenosti pojedinih stabala je rijetkost te se češće procjenjuje opožarenost neke šume, livade, maslinika ili drugog tipa pokrova. U tom slučaju se često događa da neki dio takvog područja nije uopće opožaren kao primjerice krošnje drveća na sl. 4a i 4b. To je posebno važno u slučaju kada se u jednom pikselu nalazi pokrov s različitim stupnjevima opožarenosti. U ovom radu to se mora uzeti u obzir jer površina jednog piksela Landsat snimka korištenih u ovom radu iznosi 900 m² što znači da postoji velika mogućnost pojave piksela na kojima je samo dio prostora opožaren. Povećanje prostorne rezolucije senzora smanjuje navedeni problem.

4) Vremensko razdoblje od trenutka nastanka do detekcije opožarenog područja je vrlo važno jer se biljni pokrov može relativno brzo obnoviti. Iako vremenska rezolucija u slučaju ovog rada iznosi 16 dana (ponekad i manje), pojava oblaka i drugih atmosferskih smetnji može povećati vremensko razdoblje između dvije detekcije nekog prostora na više mjeseci. Tipovi zemljišnog pokrova se mogu značajno razlikovati prema vremenu potrebnom za obnovu vegetacije. Dok se područja potpuno izgorjelih šuma mogu uočiti i nekoliko godina nakon požara, područja izgorjele suhe trave mogu se teško uočiti samo mjesec dana nakon požara (sl. 6). Intenzitet i stratifikacija požara također utječu na vrijeme potrebno za obnovu vegetacije. Tako se primjerice stabla kojima su djelomično izgorjele krošnje mogu relativno brzo obnoviti.

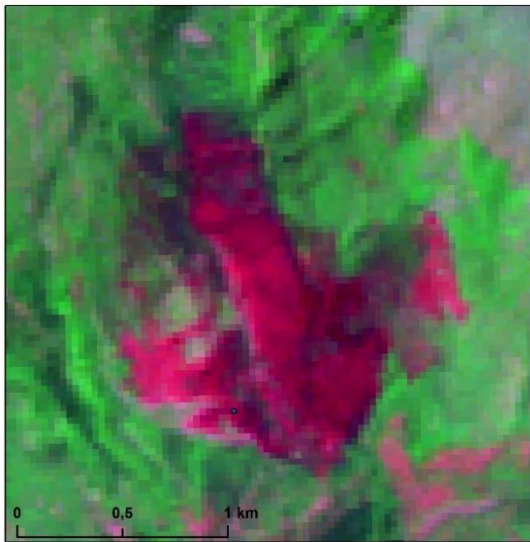
Zdrava vegetacija reflektira najviše EM zračenja u blisko infracrvenom (BIC, 0,7 - 1,4 μm) dijelu spektra,(sl. 5). Požar krošnji, koji bi trebao biti bolje uočljiv od prizemnog požara na satelitskim snimkama reflektira puno manje EM zračenja u BIC dijelu spektra, dok se u kratkovalno infracrvenom (KIC, 1,4 – 3 μm) dijelu neće znatno razlikovati od zdrave vegetacije. U KIC dijelu EM spektra najviše će reflektirati područja sa znatnim koncentracijama drvenog ugljena i pepela te će se ta činjenica koristiti u klasifikaciji opožarenih područja



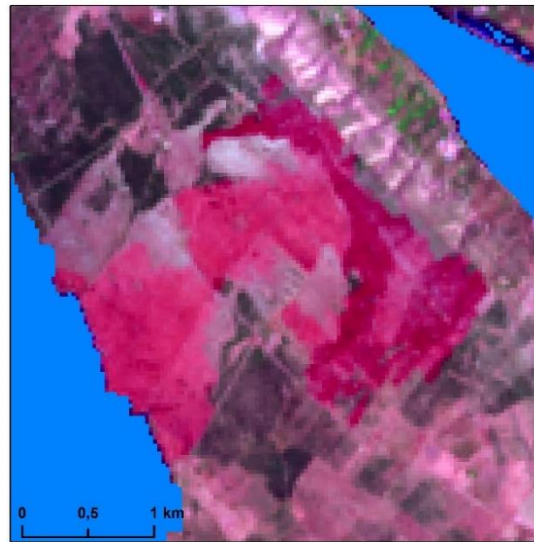
Sl. 5. Refleksija elektromagnetskog zračenja zdrave vegetacije i različitih tipova opožarenih područja prema valnim duljinama vidljivog i infracrvenog dijela spektra
Izvor: Chuvieco i dr., 2019, preveo i uredio autor

Primjeri na sl. 6. prikazuju promjene opožarenih područja tokom vremena. Opožareno područje na sl. 6a nastalo je 5. kolovoza kod Gornjeg Jelenja te je na slici prikazana Landsat snimka 12 dana nakon tog požara. Provjerom CORINE pokrova utvrđeno je kako se na većem dijelu opožarenog prostora nalazi šuma dok se na manjem jugozapadnom dijelu nalazi grmlje. Približno mjesec dana kasnije (sl. 6c) ne vide se znatne promijene, a približno godinu dana kasnije (sl. 6e) se još uvijek prepoznaje veći dio opožarenog područja dok se prostor na kojem se nalazi grmlje ne razlikuje znatno od okolnog prostora koji nije bio zahvaćen vatrom.

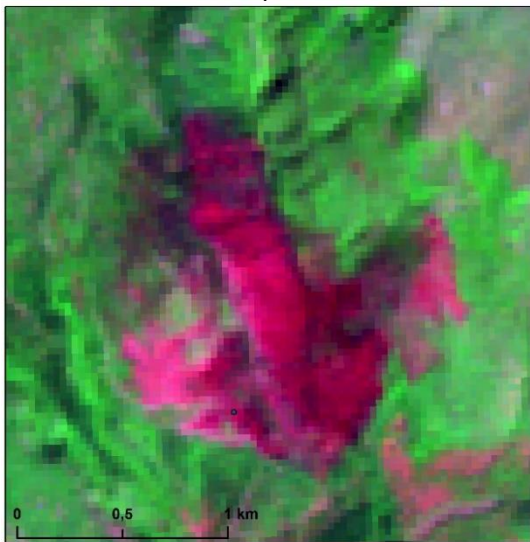
Na sl. 6b prikazano je opožareno područje na otoku Pagu 16 dana nakon požara. Vidljiva je razlika na opožarenim područjima što je posljedica razlike u tipu pokrova koji je gorio. Područje prikazano tamnijom nijansom crvene je izgorjelo grmlje, dok je svijetlocrvenom prikazana izgorjela suha trava. Navedene razlike postaju još bolje uočljive približno mjesec dana kasnije (sl. 6d), gdje se vidi kako izgorjela suha trava počinje gubiti svojstva opožarenog područja. Na istoj slici uočljivo je i novo opožareno područje na sjeverozapadu gdje je izgorjelo grmlje. Približno godinu dana kasnije, više se ne prepoznaje izgorjela trava, dok se još uvijek prepoznaje manji dio izgorjelog grmlja (sl. 6f). Primjer razlika opožarenih područja velikog požara na Korčuli nalazi se u prilogu 6.



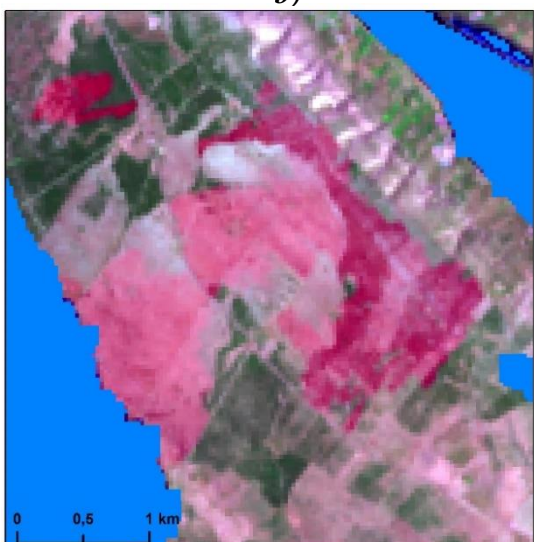
a)



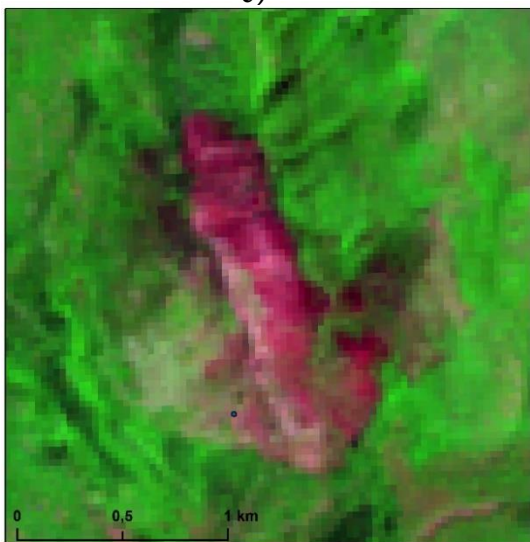
b)



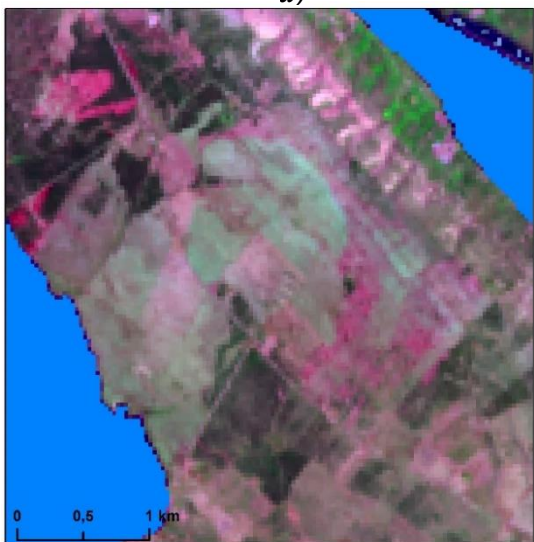
c)



d)



e)



f)

Sl. 6. Promjena opožarenog područja kod Gornjeg Jelenja (a, c, e) i Paga (b, d, f) Landsat 5 TM, 17.8.2003.(a), 18.9.2003. (c), 28.8.2004. (e), RGB kompozicija: 7 4 2 Landsat 8 OLI, 31.7.2017. (b), 25.8.2017. (d), 2.7.2018. (f), RGB kompozicija: 7 5 3

3.2. Karakteristike Landsat senzora

Glavne prednosti podataka Landsat senzora su globalna pokrivenost, kontinuitet snimanja od 1972. godine i prostorna rezolucija od 60 ili 30 m koja je povoljna za istraživanja koja imaju relativno manji prostorni obuhvat poput primjerice pojedinih županija ili regija u Hrvatskoj.

Iako su Landsat snimke dostupne od 1972. godine, MSS senzor koji je bio na prvim Landsat satelitima ima četiri puta manju prostornu rezoluciju te ne detektira EM zračenje u KIC dijelu spektra koji je izrazito važan za detekciju opožarenih područja (tab. 3). Stoga je početna godina provedene analize 1985. od kada su dostupne snimke TM senzora (tab. 4) koji ima slična svojstva kao kasniji ETM+ (tab 5.) i OLI (tab. 6) senzori. Osim prostorne rezolucije, noviji senzori imaju bolju spektralnu i radiometrijsku rezoluciju što olakšava uočavanje detalja.

Tab. 3. Karakteristike MSS senzora

Spektralni kanali	Raspon valnih duljina (μm)	Prostorna rezolucija (m)	Vremenska rezolucija	Radiometrijska rezolucija	Dimenzije scene (km)	Platforma
1	0,5 - 0,6	68 x 83	18 dana	6 bita	185 x 185	Landsat 1, 2, 3, 4, 5
2	0,6 - 0,7	68 x 83	(Landsat 1 - 3),			
3	0,7 - 0,8	68 x 83	16 dana			
4	0,8 - 1,1	68 x 83	(Landsat 4 i 5)			

Izvor: NASAa

Tab. 4. Karakteristike TM senzora

Spektralni kanali	Raspon valnih duljina (μm)	Prostorna rezolucija (m)	Vremenska rezolucija	Radiometrijska rezolucija	Dimenzije scene (km)	Platforma
1	0,45 - 0,52	30 x 30	16 dana	8 bita	185 x 185	Landsat 4 i 5
2	0,52 - 0,60	30 x 30				
3	0,63 - 0,69	30 x 30				
4	0,77 - 0,90	30 x 30				
5	1,55 - 1,75	30 x 30				
6	10,4 - 12,5	120 x 120				
7	2,09 - 2,35	30 x 30				

Izvor: NASAb

Tab. 5. Karakteristike ETM+ senzora

Spektralni kanali	Raspon valnih duljina (μm)	Prostorna rezolucija (m)	Vremenska rezolucija	Radiometrijska rezolucija	Dimenzije scene (km)	Platforma
1	0,45 - 0,515	30 x 30	16 dana	8 bita	183 x 170	Landsat 7
2	0,525 - 0,605	30 x 30				
3	0,63 - 0,69	30 x 30				
4	0,775 - 0,90	30 x 30				
5	1,55 - 1,75	30 x 30				
6	10,4 - 12,5	60 x 60				
7	2,08 - 2,35	30 x 30				
8	0,52 - 0,9	15 x 15				

Izvor: NASA

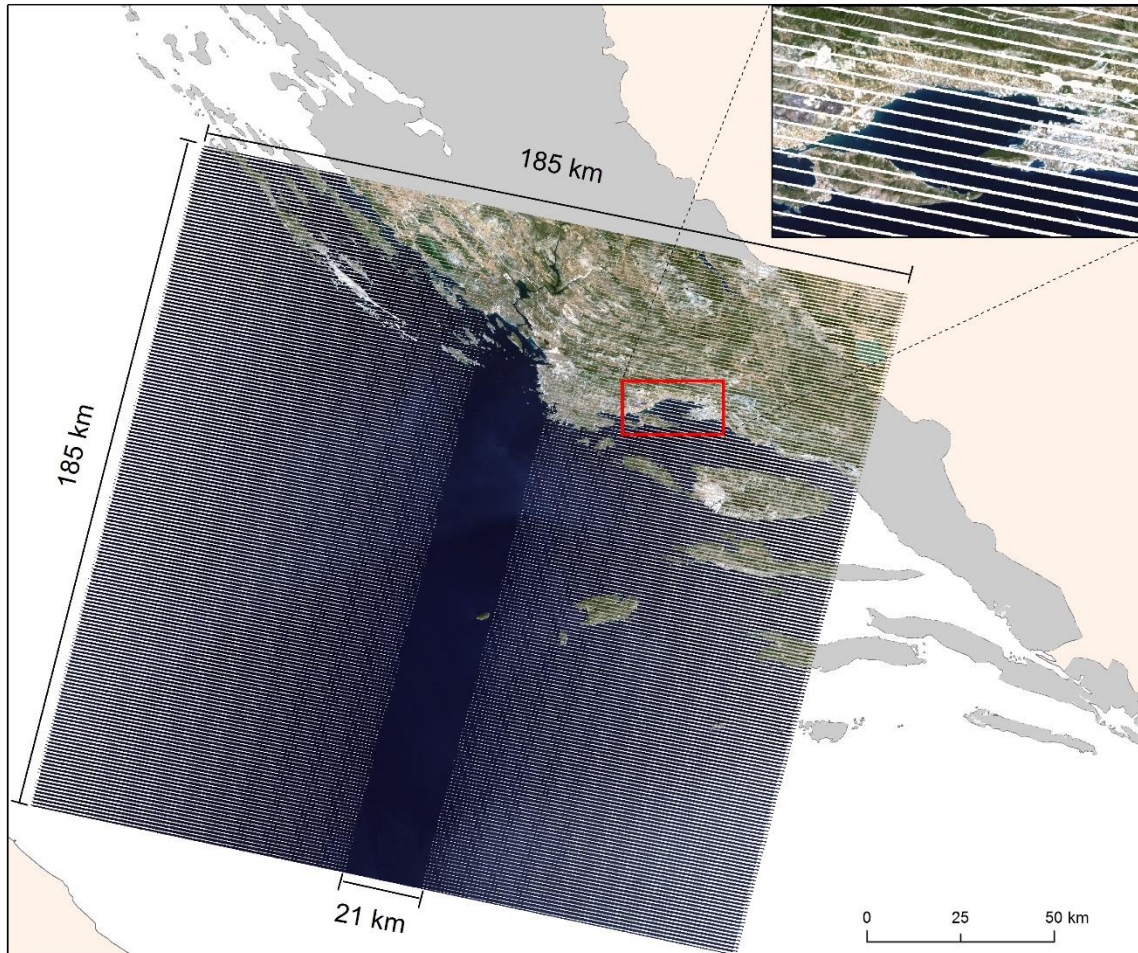
Tab. 6. Karakteristike OLI i TIRS senzora

Spektralni kanali	Raspon valnih duljina (μm)	Prostorna rezolucija (m)	Vremenska rezolucija	Radiometrijska rezolucija	Dimenzije scene (km)	Platforma
1	0,433 - 0,453	30 x 30	16 dana	12 bita	185 x 185	Landsat 8
2	0,450 - 0,515	30 x 30				
3	0,525 - 0,600	30 x 30				
4	0,630 - 0,680	30 x 30				
5	0,845 - 0,885	30 x 30				
6	1,560 - 1,660	30 x 30				
7	2,100 - 2,300	30 x 30				
8	0,500 - 0,680	15 x 15				
9	1,360 - 1,390	30 x 30				
10 (TIRS)	10,6 - 11,2	100 x 100				
11 (TIRS)	11,5 - 12,5	100 x 100				

Izvor: NASA

Kako bi se uspješno odredila opožarena područja potrebno je razviti skup postupaka koji će automatski odrediti sva opožarena područja na temelju snimka TM, ETM+ i OLI senzora Landsat satelita. Za razdoblje 1985. – 2011. koristi se ponajprije TM senzor na Landsatu 5 i 4. ETM+ senzor koji je u uporabi od 1999. koristi se uz TM senzor do 2003. od kada nastupa kvar na *scan line corrector* instrumentu. Na sl. 7. je vidljivo kako je samo središnji dio ETM+ snimke potpuno upotrebljiv. Stoga se od 2003. godine snimke ETM+ senzora na Landsatu 7 koriste ponajprije kao dopunski podaci u slučaju da snimke TM senzora nisu dostupne duže razdoblje ili imaju velik udio oblaka na promatranom području. S obzirom da TM senzor na Landsatu 5 prestaje s radom krajem 2011., dok OLI senzor na Landsatu 8 počinje s radom tek 2013. godine, za 2012. godinu su korištene isključivo snimke ETM+ senzora. Za razdoblje 2013. – 2018. koristi se OLI senzor Landsat 8 satelita.

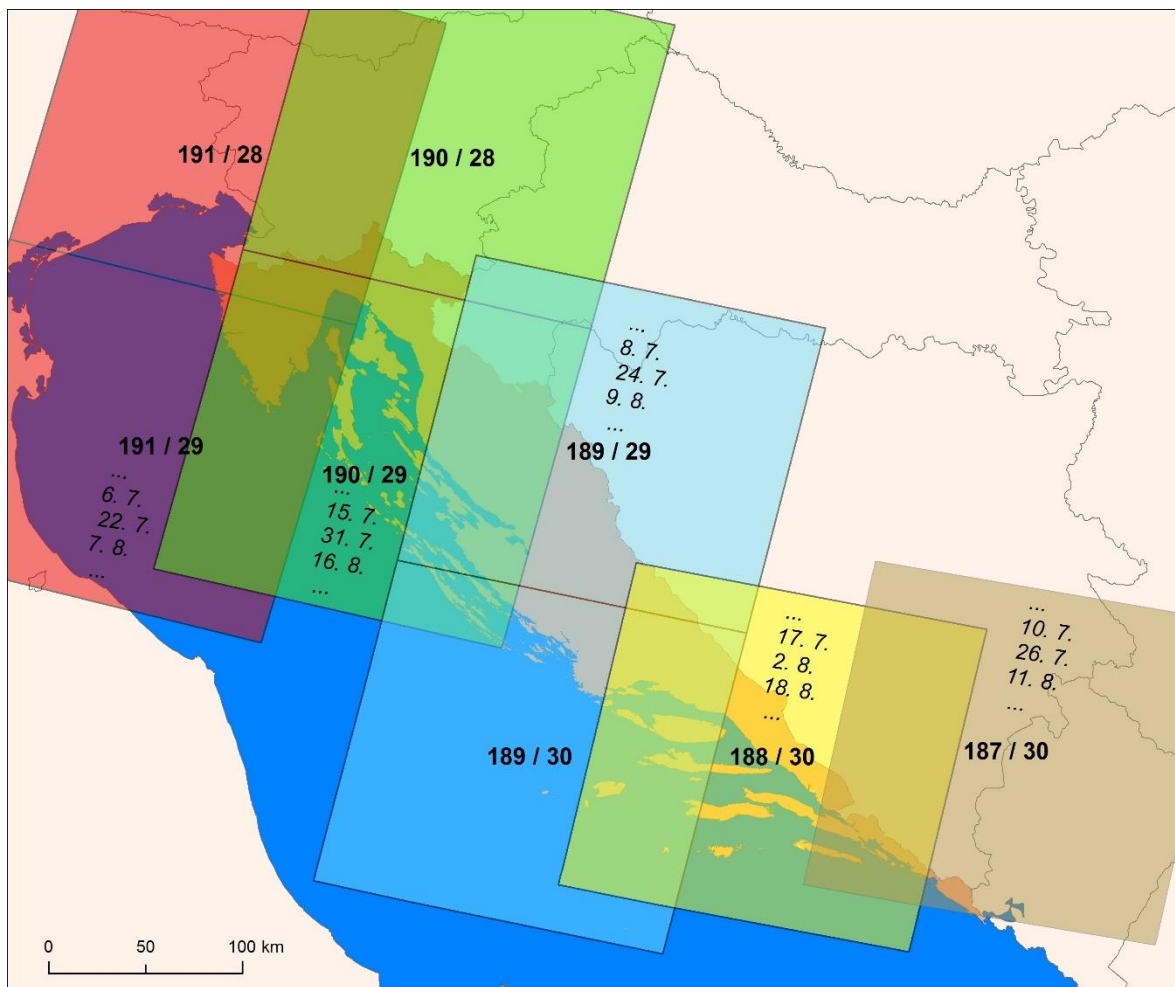
Na sl. 7 se vidi Landsat 7 scena iz 19. kolovoza 2012. te područje Kaštelanskog zaljeva gdje se jasno vide isprekidana područja na kojima nema podataka. Ta područja se pomiču svaki put kada je satelit na istoj stazi tako da se ona mogu nadopuniti podacima od prošlog snimanja. Tako je moguće u potpunosti prikupiti podatke za sve prostore JH 2012. godine, samo će doći do diskontinuiteta u vremenskoj pokrivenosti snimanog područja.



Sl. 7. Scena ETM+ senzora nakon kvara *scan line corrector* instrumenta Landsat 7 ETM+, 19.8.2012., RGB kompozicija: 3 2 1

Cijelo područje Jadranske Hrvatske pokriva 9 Landsat scena (sl. 8). Svaka scena definirana je svojom stazom (engl. *path*) i redom (engl. *row*) prema WRS 2 (*Worldwide reference system*) sustavu. Red označuje dio staze s obzirom na udaljenost od ekvatora (scena na ekvatoru ima red 60). Staza određuje orbitu koja prolazi uvijek iznad identičnog područja Zemlje. Satelit se kreće od sjevera prema jugu kada je iznad područja Zemlje na kojem je dan te od juga prema sjeveru tokom noći (kada naravno ne može snimati u vidljivom dijelu EM spektra). Potrebno je i napomenuti kako se satelit ne kreće u smjeru sjever-jug po meridijanima, nego se zbog rotacije Zemlje smjer snimanja kreće prema jugozapadu.

Dakle, scena na stazi 189 i redu 30 (189/30 na sl. 8.) snimana je istoga dana odmah nakon scene 189/29. Vrijeme koje je potrebno da se isto područje ponovno snimi često se u kontekstu daljinskih istraživanja naziva vremenska rezolucija (vidi tab. 3, 4, 5 i 6) koja za snimke korištene u ovom radu iznosi 16 dana. Satelit će snimiti svaku susjednu zapadnu stazu nakon 7 dana tako da u slučaju kada je staza 189 snimljena 24. srpnja, staza 190 (staze su numerirane od istoka prema zapadu) će biti snimljena 31. srpnja (sl. 8). Svaka susjedna istočna scena će biti snimljena 9 dana kasnije pa će staza 188 biti snimljena 2. kolovoza ili 17. srpnja (7 dana ranije).



Sl. 8. WRS 2 staze i redovi koji obuhvaćaju prostor JH sa primjerima datuma snimanja iz 2017. godine

Ako se u obzir uzme činjenica da će širina snimanja staze uvijek iznositi oko 185 kilometara (tab. 3, 4, 5, i 6), logično je da će kod područja sjeverno i južno od ekvatora doći do preklapanja snimanog prostora sa scenama drugih staza te da će se područje preklapanja povećavati udaljavanjem od ekvatora. Na geografskim širinama prostora Hrvatske će oko 2/3 svake scene biti preklapljeno s dvije susjedne scene. Udio prostora JH na kojem se scene preklapaju iznosi oko 60 % te će ti prostori imati efektivnu prostornu rezoluciju od 7 ili 9 dana. Primjerice, veći dio prostora Istre je bio snimljen 6., 15., 22., i 31. srpnja 2017. godine (sl. 8).

3.3. Klasifikacija opožarenih područja

Klasifikacija neke rasterske snimke temelji se na svrstavanju skupova piksela koji imaju slična svojstva u klase. Campbell i Wynne (2011) navode kako su dvije osnovne vrste klasifikacije spektralna, i prostorna klasifikacija. Spektralna klasifikacija određuje klase na temelju vrijednosti pojedinačnih piksela ili više piksela na istoj lokaciji ako se radi o multispektralnoj snimci. Prostorna klasifikacija uzima u obzir odnose između susjednih piksela. Neke će vrste klasifikacije, poput objektno orijentirane klasifikacije uzeti u obzir spektralne vrijednosti, ali i odnose između susjednih piksela (Lillesand, Kiefer i Chipman, 2015). Klasifikacija se s obzirom na interakciju korisnika i računala može podijeliti i na nadziranu i nenadziranu. Nadzirana će klasifikacija tražiti od korisnika da odredi područja na snimci za koja je siguran da predstavljaju određenu klasu, dok će nenadzirana klasifikacija klase odrediti automatski (Campbell i Wayne, 2011).

U ovom radu će se klasifikacija opožarenih područja provesti isključivo na temelju spektralnih vrijednosti piksela. Informacije iz više spektralnih kanala mogu se staviti u odnos kako bi se dobio pokazatelj koji će prikazivati intenzitet određene pojave, a to se najčešće radi pomoću indeksa normalizirane razlike. Jedan od najčešće korištenih takvih indeksa je NDVI (*Normalized difference vegetation index*, Rouse i dr. (1973)).

$$NDVI = \frac{BIC - CRV}{BIC + CRV}$$

NDVI se temelji na odnosu blisko infracrvenog (BIC) i crvenog (CRV) dijela EM spektra, što bi u slučaju TM i ETM senzora odgovaralo kanalima 4 i 3 (tab. 4 i 5), a kod OLI senzora kanalima 4 i 5 (tab 6). Iz sl. 5. se vidi kako zdrava vegetacija reflektira puno EM zračenja u BIC dijelu EM spektra, a vrlo malo u crvenom, pa će veće NDVI vrijednosti ukazivati na veću prisutnost zdrave vegetacije (s pigmentom klorofilom).

Iz sl. 5 je jasno kako u KIC (1,4 – 3 μm) dolazi do znatne razlike u reflektiranom zračenju između zdrave vegetacije i područja drvenog ugljena i pepela, pa je logično kako bi se taj dio spektra mogao koristiti za određivanje opožarenih područja. White i dr. (1996) koriste vrijednosti sedmog spektralnog kanala TM senzora (2,09 – 2,35 μm) kako bi klasificirala izraženost opožarenih područja. Ipak potrebno je uzeti u obzir da drveni ugljen i požar krošnji reflektiraju relativno malo u blisko infracrvenom dijelu spektra. Uzevši te dvije činjenice u obzir, po uzoru na NDVI nastaje NBR (*Normalized burn ratio*) kojeg je u svojem radu prvi upotrijebili Key i Benson (1999) te se kod TM senzora NBR računa na sljedeći način:

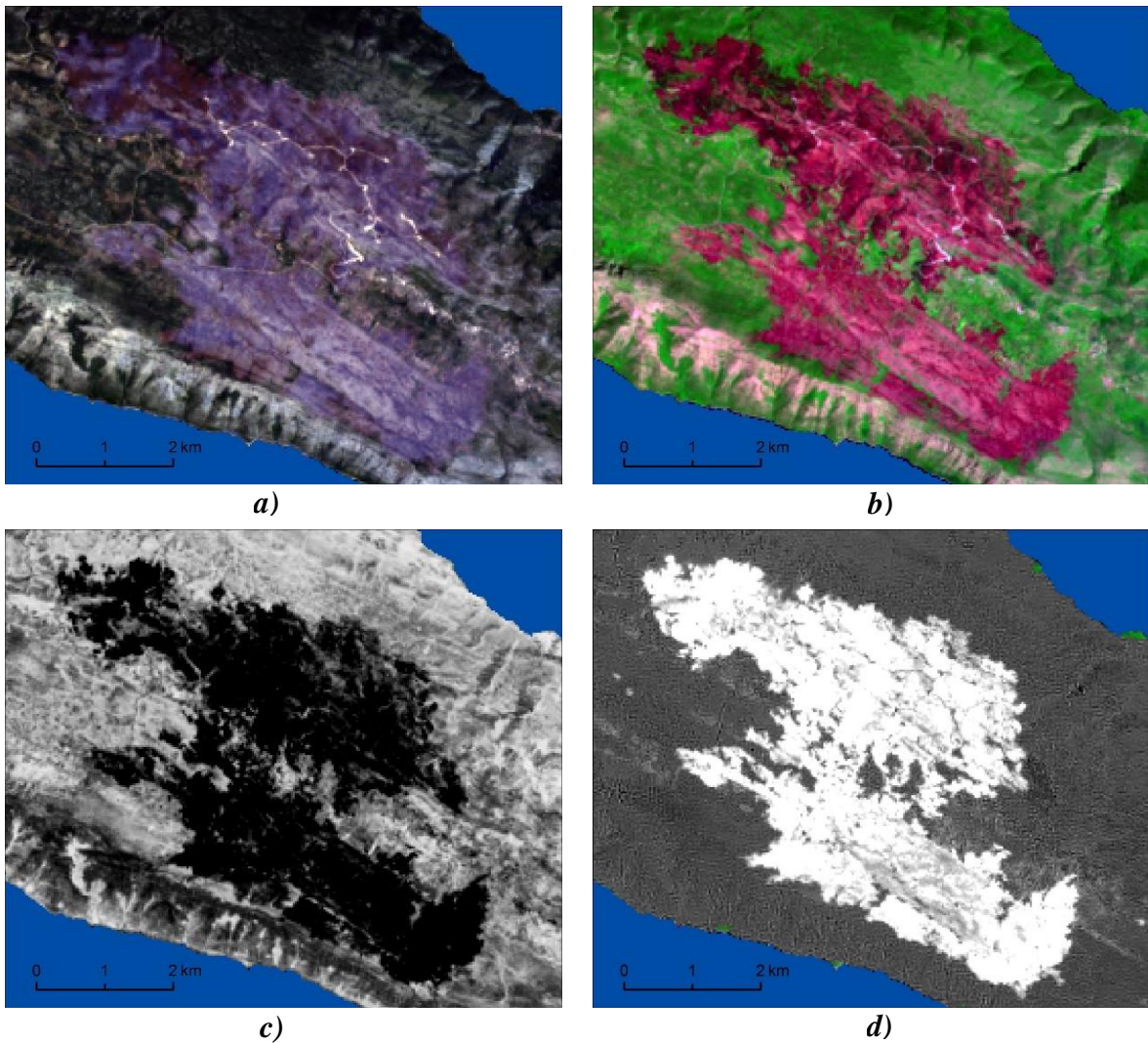
$$NBR = \frac{K4 - K7}{K4 + K7}$$

Spektralni kanal 7 (K7) je gotovo identičan kod TM, ETM+ i OLI senzora te svojim karakteristikama (sl. 5) odgovara točno onom predjelu KIC dijela spektra kod kojeg drveni ugljen reflektira najviše EM zračenja. Valja napomenuti da kod TM senzora kanali 5 i 7 odgovaraju KIC dijelu spektra, no drveni ugljen reflektira više u rasponu valnih duljina koje obuhvaća kanal 7. Kanal 4 se pak odnosi na BIC dio spektra, te je identičan kanalu koji se koristi kod računanja NDVI. NDVI i NBR vrijednosti imaju vrlo slične karakteristike kod opožarenih područja, no detaljnijom provjerom više opožarenih područja zaključeno je kako su NBR vrijednosti pogodnije za njihovo određivanje.

MSS senzor (tab. 4) ne detektira dio spektra koji odgovara kanalu 7 ostalih senzora. Iako su neke analize koje su koristile taj senzor primjenjivale NDVI za određivanje opožarenih područja (Salvador i dr. 2000), nemogućnost računanja NBR vrijednosti uz činjenicu da MSS senzor ima lošiju prostornu i spektralnu rezoluciju je razlog zašto se on neće koristiti u ovoj analizi.

Na sl. 9. prikazan je opožaren dio Pelješca u vidljivom (a) i infracrvenom (b) dijelu spektra, te NBR vrijednosti tog područja (c). Na temelju slike može se zaključiti kako se opožarena područja bolje ističu kombinacijom kanala u KIC (7), BIC (5) i zelenom predjelu vidljivog (3) dijela spektra nego u vidljivom dijelu spektra sa stvarnim bojama (kanali 3 2 1). Uzrok tome su već spomenute karakteristike opožarenih područja i vegetacije sa sl. 5.

Potrebno je uzeti u obzir kako određeni zemljišni pokrovi s malo vegetacije poput ogoljelih stijena (južni dio na sl. 9c) imaju također vrlo niske NBR i NDVI vrijednosti, što može dovesti do pogrešne klasifikacije ako se određuju granične vrijednosti na temelju jedne snimke. Iz tog razloga pogodnije je koristiti razlike između NBR vrijednosti kako bi se bolje uočila područja kod kojih je došlo do izrazite promjene zemljišnog pokrova unutar određenog razdoblja.



Sl. 9. Opožareno područje Pelješca u vidljivom (a) i infracrvenom (b) dijelu EM spektra te NBR (c) i Δ NBR (d) vrijednosti navedenog područja Landsat 8 OLI, 13.8.2015., RGB kompozicija 4 3 2 (a) i 7 5 3 (b)

Sl. 9d prikazuje vrijednosti izračunate oduzimanjem NBR vrijednosti snimljenih 13. 8. 2015. od NBR vrijednosti snimljenih 12. 7. 2015. Mnogi radovi koriste upravo razliku NBR vrijednosti kao jedan od parametara za određivanje opožarenih područja (Key i Benson 1999; Roy, Boschetti i Trigg 2006; Liu i dr. 2014; Long i dr. 2018) koja se računa kao:

$$\Delta NBR = NBR_{prije\ požara} - NBR_{nakon\ požara}$$

Neka istraživanja ipak ukazuju kako korištenje isključivo NBR indeksa za određivanja opožarenih područja nije najbolje rješenje. Roy i dr. (2006) u svojem istraživanju nisu uspjeli dokazati da je NBR povoljan za ukazivanje intenziteta opožarenosti vegetacije. Kontoes i dr. (2009) navode kako na temelju NBR vrijednosti često dolazi do konfuzije obrađivanih, ogoljelih, izgrađenih i vodenih površina s opožarenim područjima. Lentile i dr. (2006) navode kako NBR nije pogodan za određivanje požarišta kod vegetacija travnjaka i grmlja.

Iz gore navedenog može se zaključiti kako se NBR ne može koristiti kao jedini pokazatelj opožarenih područja, već ga je potrebno koristiti u kombinaciji uz druge pokazatelje.

Osim NBR pokazatelja, postoji veći broj drugih pokazatelja koji se mogu koristiti za detekciju i praćenje opožarenih područja (BAI, NBR2, SAVI, EVI). Zbog jednostavnosti računanja te relativno dobre pogodnosti za praćenje opožarenih područja (Hislop i dr. 2018) u ovom radu će se uz NDVI i NBR koristiti i NBR2 pokazatelj. NBR2 (Key i Benson, 2006) se temelji na odnosu reflektiranog zračenja između kanala 5 (kod OLI senzora to je kanal 6) i kanala 7 te se računa kao:

$$NBR2 = \frac{K5 - K7}{K5 + K7}$$

S obzirom da se u ovom radu analiziraju svi požari kroz višegodišnje razdoblje, oduzimanje NBR vrijednosti svake snimke od prethodne snimke tog područja može dovesti do pogrešne interpretacije ako se na nekom području nalaze oblaci ili druge anomalije. Kako bi se riješio taj problem izrađen je model po kojem će se područja oblaka izbaciti te će se izraditi raster maksimalnih i minimalnih NDVI i NBR vrijednosti za cijelu požarnu sezonu te će se na temelju njih izračunati razlika. Požarna sezona u ovom radu označava razdoblje od 1. svibnja do 30. listopada što je objašnjeno u poglavlju 3.4.

Konačno, potrebno je odrediti granične vrijednosti koje će odrediti opožarena i neopožarena područja. Nakon više pokušaja njihovog određivanja na različitim opožarenim područjima određene su iduće vrijednosti i uvjeti:

- 1.) $\Delta NDVI > 0,1$
- 2.) $NDVI_{max} > 0,25$
- 3.) $\Delta NBR > 0,25$
- 4.) $NBR_{min} < 0,1$
- 5.) TM i ETM+: $\Delta NBR2 > 0,1$, OLI: $\Delta NBR2 > 0,05$
- 6.) $NBR2_{min} < 0,2$
- 7.) $NBR_{prvi} \neq NBR_{min}$

Minimalna NBR i NBR2 vrijednost izračunata od svih snimaka tokom požarne sezone mora biti manja od postavljene granične vrijednosti kako bi se potvrdilo da se radi o opožarenom području s prisustvom drvenog ugljena i pepela. One će također eliminirati područja kod kojih je samo došlo do sezonske promjene vegetacijskog pokrova poput opadanja lišća kod bjelogoričnih šuma. Maksimalni NDVI mora biti veći od navedene granične vrijednosti kako bi se potvrdilo da je te godine u određenom trenutku na nekom prostoru postojala vegetacija koja je kasnije izgorjela. Postavljene granične $\Delta NDVI$, ΔNBR i $\Delta NBR2$ vrijednosti će potvrditi da je došlo do promjene zemljišnog pokrova čiji je rezultat izgorjela vegetacija. S obzirom da će se požarište detektirati kao promjena u vegetaciji određene godine, ono ne može biti na najranijoj snimci koja je uzeta iz te godine. Stoga minimalna NBR vrijednost koja je uočena nakon požara ne može biti na prvoj snimci neke godine, a taj će uvjet također potvrditi da se ne radi o požaru iz prošle sezone.

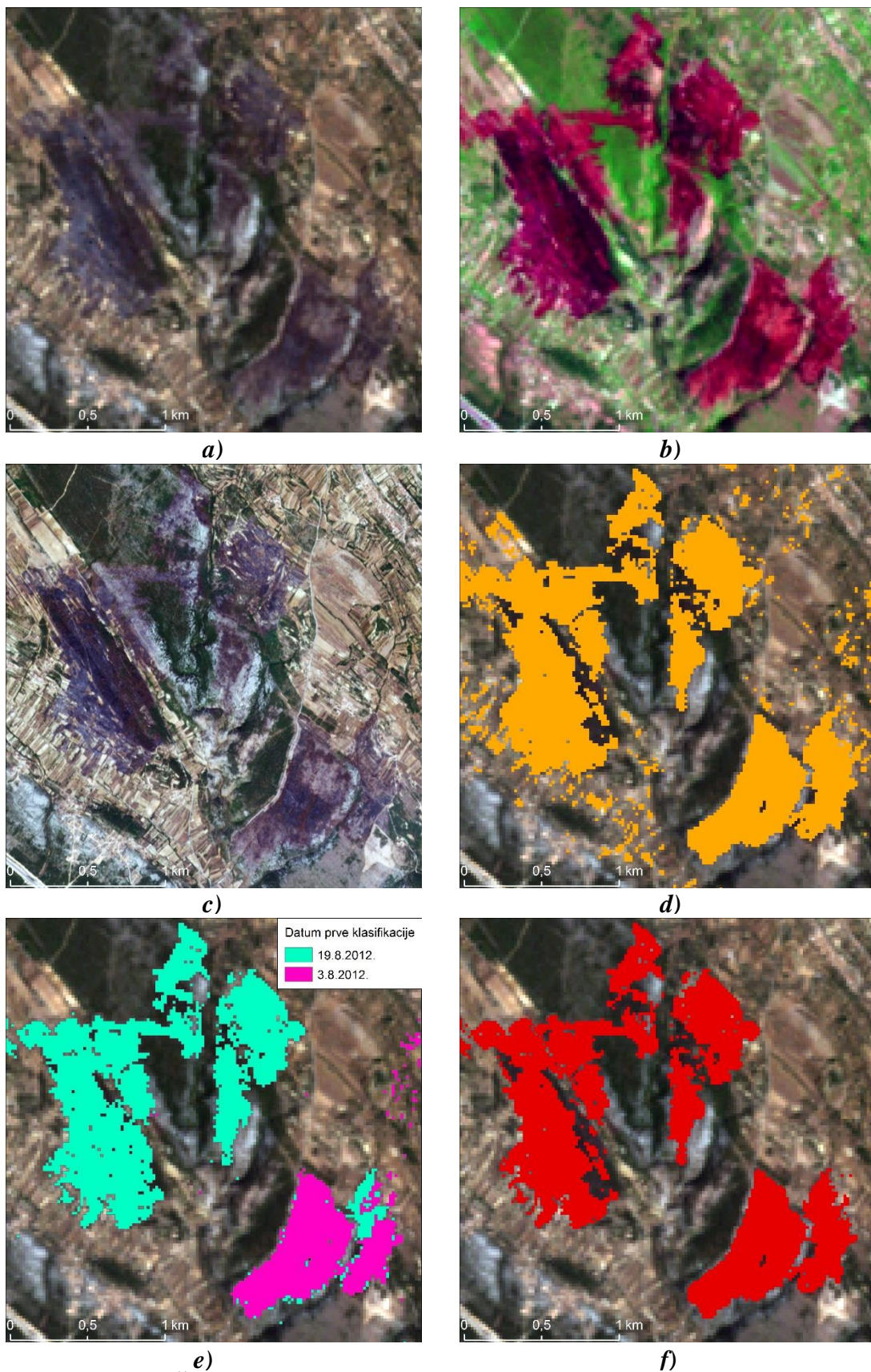
Kao početni temelj određivanja graničnih vrijednosti uzeta je analiza koju su proveli Long i dr. (2018), no vizualnom interpretacijom utvrđeno je kako granične vrijednosti $\Delta NBR > 0.1$ i $\Delta NDVI > 0.2$ određene u tom radu ne odgovaraju najbolje za određivanje brojnih požara JH. Stoga su granične vrijednosti prilagođene na temelju pregleda i vizualne interpretacije nekoliko desetaka većih opožarenih područja. U obzir je uzeta činjenica kako će ponekad proći period od mjesec dana ili više od požara. Svaki od navedenih kriterija će zadovoljavati vrlo veliku površinu koja se sužava njihovom kombinacijom iz koje nastaje sloj graničnih vrijednosti (GV).

Sl. 10 prikazuje više požara na prostoru Šibensko-kninske županije u vidljivom (a i c) i infracrvenom (b) dijelu spektra. Iz sl. 10d na kojoj se nalazi sloj GV je vidljivo kako i neke poljoprivredne površine također zadovoljavaju postavljene uvjete. Prilagođavanje graničnih vrijednosti kako bi se u potpunosti obuhvatila opožarena područja dovodi do pojave anomalija koje nisu opožarena područja. Uzrok tome je činjenica kako su rasteri promjene izračunati na temelju više snimaka u razdoblju od početka svibnja do kraja listopada, a tijekom tog razdoblja može doći do brojnih promjena na poljoprivrednim površinama. Najčešći uzroci navedenih anomalija mogu biti oranice, poplavljeni područja, izgrađene površine ili kontrolirano spaljivanje poljoprivrednih površina (ta područja nisu u interesu ovog rada). Primjer sličnosti poljoprivrednih i opožarenih područja može se vidjeti i u prilogu 7.

Promatrano područje sa sl. 10 se nalazi na užem prostoru koji nije obuhvaćen graškama ETM+ senzora opisanim u poglavlju 3.2 te se cijela snimka sa sl. 10 može vidjeti na sl. 7.

Kako bi se dodatno potvrdilo da se radi o opožarenom području provedena je i nadzirana klasifikacija za svaku Landsat scenu. Nadzirana klasifikacija temeljit će se na treniranju klasa opožarenih i neopožarenih područja pomoću vizualne interpretacije multispektralnih Landsat snimka.

Problem predstavlja velika količina Landsat scena te bi se u idealnom slučaju svaka scena trebala pojedinačno klasificirati, no u ovom radu će se na temelju treniranog uzorka klasifikacije jedne snimke klasificirati sve scene iz te godine. Za sve veće požarne sezone izrađene su trenirani uzorci klasifikacije požarišta na temelju jedne snimke iz te godine na kojoj je uočeno najviše požara (to su uglavnom snimke iz kolovoza). Za nadziranu klasifikaciju su kod TM i ETM+ senzora korišteni kanali 1, 2, 3, 4, 5 i 7, a kod OLI senzora kanali 2, 3, 4, 5, 6 i 7. Neke godine su koristile i signature iz drugih sezona ako se vizualnom interpretacijom zaključilo kako su rezultati klasifikacije zadovoljavajući. Snimke boljih prostornih rezolucija PlanetScope i RapidEye (Planet Labs, Inc.) satelita korištene su isključivo za bolju vizualnu interpretaciju opožarenih područja (sl. 10c). Kod godina za koje su uz TM korištene i ETM+ snimke kao dopunski izvori podataka, korištena je signatura TM senzora te zbog sličnosti karakteristika senzora nije dolazilo do anomalija.



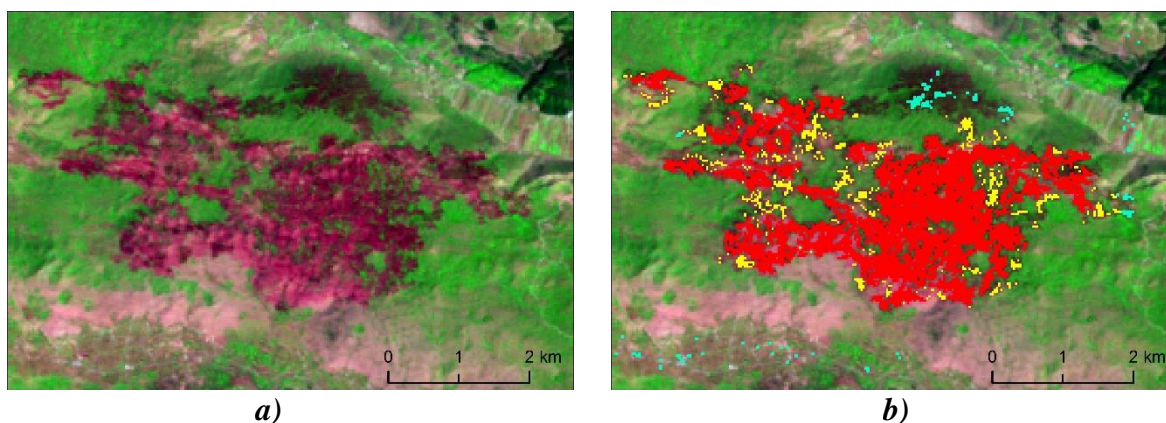
Sl. 10. Požari u Šibensko-kninskoj županiji u vidljivom (a, c) i infracrvenom (b) dijelu EM spektra te GV (d), USNK (e) i SOP (f) klasifikacija požara Landsat 7 ETM+, 19.8.2012., RGB kompozicija 3 2 1 (a, d, e, f) i 7 4 2 (b) RapidEye JSS, 29.8.2012., RGB kompozicija 3 2 1 (c), izvor: Planet Labs, Inc.

Kako bi se omogućilo praćenje pojave požara tokom sezone, sve klasificirane scene su pretvorene u vektorski model podataka te je svakom opožarenom poligonu klasificirane scene pridodan atribut datuma snimke. Klasificirana opožarena područja svih scena iz jedne godine su zatim spojena u sloj koji čini ukupnu sezonsku nadziranu klasifikaciju (USNK, sl. 10e). Na tom sloju su zadržani poligoni najranijeg datuma detekcije nekog požara, a poligoni kasnije detekcije istog požara su zanemareni. Na sl. 10e se vidi kako je požar na jugoistočnom dijelu prikazanog područja klasificiran na temelju snimke iz 3. kolovoza, dok su ostali požari klasificirani 19. kolovoza (što je ujedno i datum satelitske snimke u pozadini) te se za njih sa sigurnošću zna kako su nastali u razdoblju između 3. i 19. kolovoza.

Iako se sloj dobiven nadziranim klasifikacijama (sl. 10e) čini pogodniji nego sloj određen graničnim vrijednostima (sl. 10d), on u nekim slučajevima također proizvodi anomalije. Stoga je zaključeno kako će se konačni sloj opožarenih područja (SOP) označavati područja gdje se GV i USNK slojevi preklapaju (sl. 10f).

S obzirom da USNK sloj ima atribut datuma za svaki poligon, potrebno je i GV sloj pretvoriti u vektorski sloj kako bi se slojevi uspješno preklapili i zadržao atribut datuma. Zbog relativno velike količine klasificiranih piksela nastali vektorski sloj nekih požarnih sezona može sadržavati preko 100 000 poligona, od kojih veliki udio predstavljaju skupine od samo jednog ili nekoliko klasificiranih piksela. Primjerice, za požarnu sezonu 2000. taj sloj ima oko 142 000 poligona od kojih oko 104 000 predstavljaju samo 1 piksel dok njih 141 000 predstavljaju površine manje od 4 hektara (manje od 45 vektoriziranih povezanih piksela).

Kod tako malih grupa piksela teško je potvrditi da se uistinu radi o požaru, stoga će se postaviti minimalna granica površine požara koji će biti klasificiran. S obzirom da će dobiveni rezultati biti uspoređeni s referentnim podacima koji sadrže požare minimalne veličine od 5 ha (poglavlje 5.2), određena je manja minimalna površina od 4 ha jer će svaki skup piksela veći od te vrijednosti oko sebe imati i piksele manjih površina. Naime, potrebno je uzeti u obzir činjenicu da se svako požarište može sastojati od više grupa piksela koje su manje od 4 hektara te su prostorno razdvojene (sl. 11a). Kako bi se taj problem riješio određeni su glavni poligoni veći od 4 hektara (sl. 11b, crveno) u čijem je krugu od 300 metara dozvoljena pojava poligona svih veličina (sl. 11b, žuto). Svi poligoni manji od 4 hektara koji nisu unutar navedene udaljenosti nekog većeg poligona su zanemareni (sl. 11b, tirkizna boja).



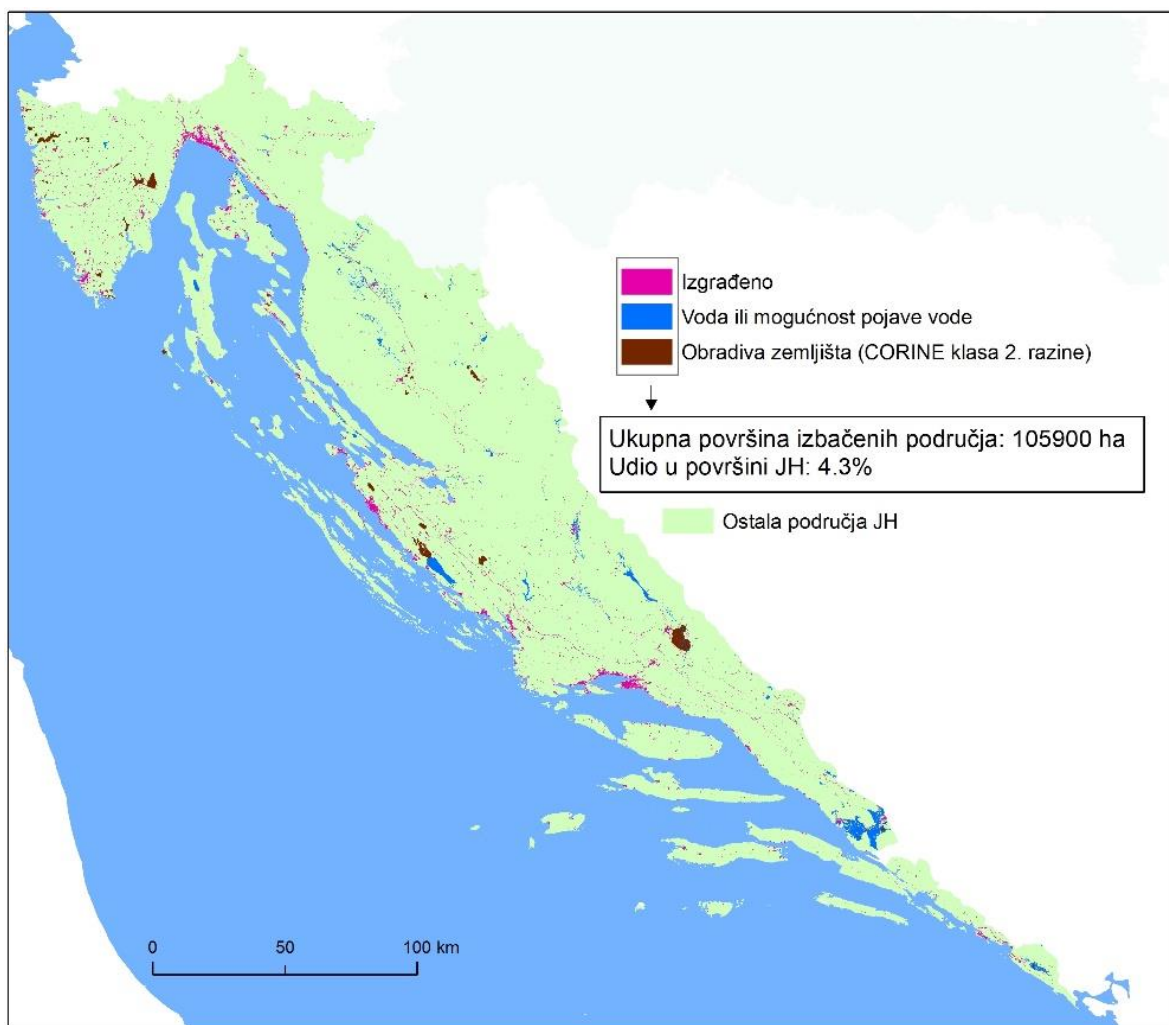
Sl. 11. Požar u okolici Muća (a), SOP klasifikacija (b), grupe klasificiranih piksela > 4 ha (crveno), ≤ 4 ha unutar 300 m od crvenog (žuto), ≤ 4 ha izvan 300 m od crvenog (tirkizna) Landsat 5 TM, 29.7.2007., RGB kompozicija: 7 4 2

Idući problem predstavljaju područja koja imaju visoku vjerojatnost za pogrešnu klasifikaciju požara. Glavni problem svih daljinskih istraživanja koja koriste pasivne optičke s. su oblaci. Oni se mogu izbaciti sa snimke pomoću postojećih algoritama za njihovu klasifikaciju. Za opožarena područja je pak karakteristična pogrešna klasifikacija voda, sjena, izgrađenih i obrađivanih poljoprivrednih zemljišta (Chuvieco i Congalton 1988; Bastarrika, Chuvieco i Pilar Martin 2011).

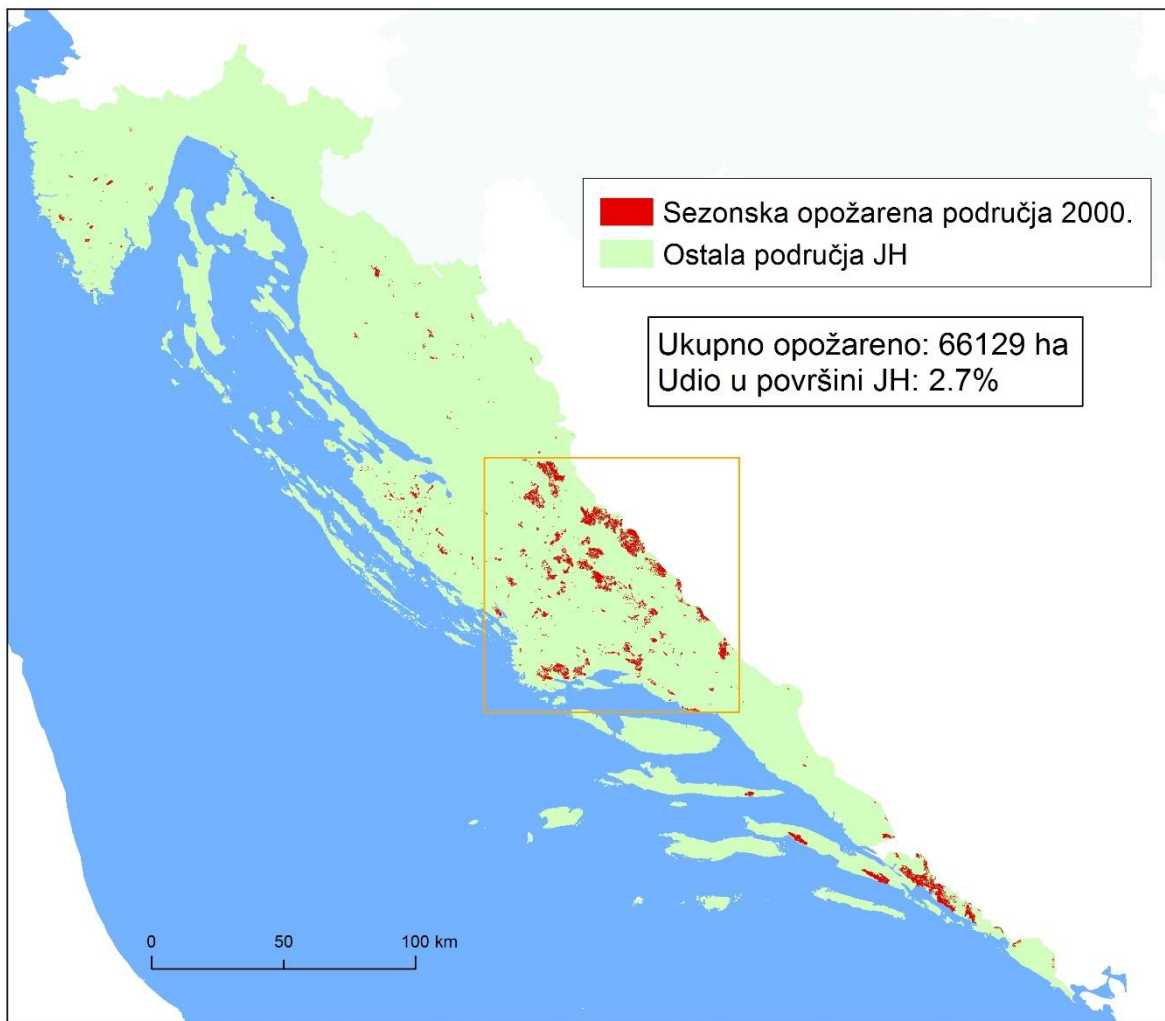
Za konačan sloj sezonskih opožarenih područja (SOP) su stoga izbačene sve površine (sl. 12) dobivene na temelju spajanja slojeva obrađivanih površina (CORINE klasa 2. razine) iz CORINE pokrova 1990, 2000, 2006, 2012 i 2018. Iako bi bilo prikladnije iz svakog sezonskog sloja izbaciti samo obrađivane površine iz vremenski najbliže odgovarajućeg CORINE pokrova, zbog jednostavnosti procesiranja i uniformnosti izbačenih slojeva za sve godine odlučeno je za gore navedeni pristup. Izbačene su i sve izgrađene površine temeljene na sloju stupnja izgrađenosti iz 2012. godine koji je preuzet s Copernicus servisa (Copernicus) (sl. 12). Uz morske površine izbačene su i sve površine na kojima se nalazi voda ili postoji mogućnost njezinog pojavljivanja dobivene na temelju WWPI (*Water & Wetness Probability Index*) sloja iz 2015. godine koji je također preuzet s Copernicus servisa. Na temelju tog sloja odabrana su sva područja koja imaju vjerojatnost pojavljivanja vode 1 % ili više (sl. 12). To je napravljeno ponajprije kako bi se izbacila područja koja mogu biti poplavljena što može dovesti do pogrešne interpretacije NBR pokazatelja.

Cijeli proces klasifikacije čiji je rezultat dobivanje sloja SOP za svaku godinu prikazan je modelom na sl. 15, a primjer sloja sezonskih požara za 2000. godinu (kada je klasificirano najviše požara) prikazan je na sl. 13.

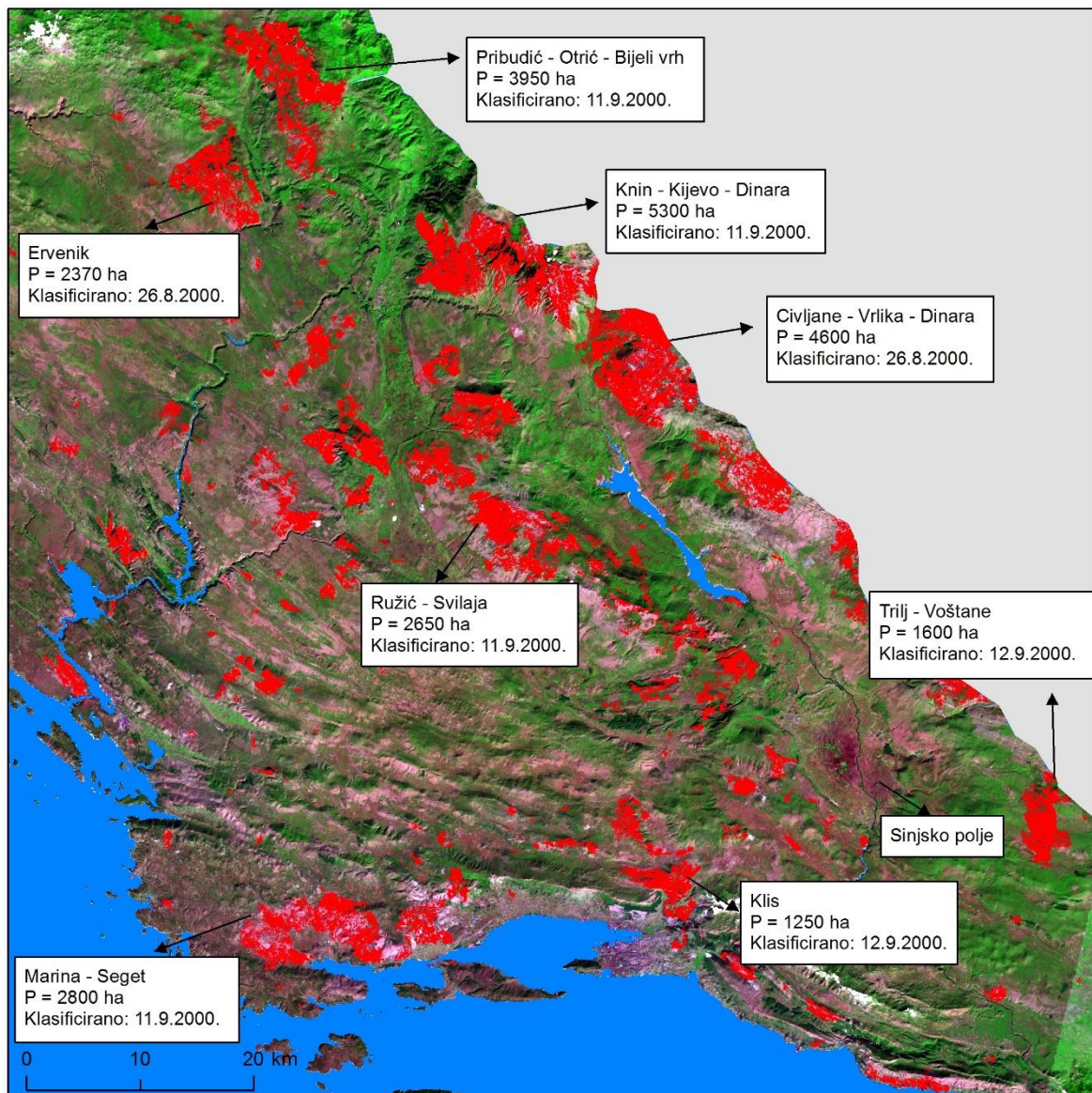
Na detaljnijem prikazu prostora s najviše požara iz sezone 2000. (sl. 14) vidljiva su velika opožarena područja koja su zahvatila taj prostor. Zanimljivo je kako se velik broj opožarenih područja nalazi na teško dostupnim prostorima Svilaje, Dinare, Kamešnice i Bijelog Vrha. Veliki udio prostora na Sinjskom polju bi također bio klasificiran kao opožaren da to područje nije izbačeno u procesu klasifikacije jer se tamo nalaze obrađena poljoprivredna zemljišta koja se često pogrešno klasificiraju kao požarišta..



Sl. 12. Površine koje neće ući u proces klasifikacije



Sl. 13. SOP sloj za 2000. godinu na prostoru cijele JH, narančasti okvir predstavlja područje na sl. 14



Sl. 14. SOP sloj 2000. (crveno) na dijelu Dalmacije koji je bio najviše opožaren uz opis lokacije, površine (P) i datuma klasifikacije za veća požarišta, u pozadini Landsat snimka Landsat 5 TM, 27.9.2000., RGB kompozicija: 7 4 2

3.4. Obrada podataka

Sve scene su preuzete sa EarthExplorer portala na kojem se nalazi arhiva Landsat snimaka koju održava Američki geološki zavod (USGS). Preuzete su Landsat scene na kojima su već prethodno izvršene sve atmosferske i geometrijske korekcije čije gotove produkte USGS s obzirom na razinu procesiranja službeno naziva *Level 2 Surface reflectance*. TM i ETM+ scene su već procesirane LEDAPS (Masek i dr., 2012) algoritmom dok su OLI scene procesirane LaSRC (Vermote i dr. 2016) algoritmom za atmosferske korekcije. Pregledavanjem dostupnih snimka te uvidom u metapodatke scena na EarthExplorer servisu zaključeno je kako će se zbog česte naoblake u ostalim mjesecima preuzeti samo Landsat scene u razdoblju od 1. svibnja do 30. listopada za svaku godinu.

Iako službeno ljetna požarna sezona u Hrvatskoj traje od 1. lipnja do 30. rujna (NN 35/19), u ovom radu će pojam požarne sezone odnositi na vremenski period između prve i posljednje preuzete Landsat snimke u razdoblju od 1. svibnja do 30. listopada neke godine. Razlog toga je vremenska rezolucija snimaka od 16 dana te već spomenuti problem oblaka. Primjerice, ako je opožareno područje nastalo 20. kolovoza te se na idućim snimkama tog područja 3. i 19. rujna nalaze oblaci, snimka bez oblaka iz 5. listopada omogućava pregled tog opožarenog područja. Snimke iz svibnja služe ponajprije kao referentne snimke za usporedbu sa snimkama iz lipnja kako bi se mogla odrediti promjena pokrova. S obzirom da je prostor JH obuhvaćen s pet različitih WRS2 staza (vidi sl. 8 za primjer razlike u datumima susjednih staza), trajanje promatrane požarne sezone će se prostorno razlikovati, a u obzir je potrebno uzeti i preklapanje scena objašnjeno u poglavlju 3.2. Također, u obzir je potrebno uzeti pojavu oblaka pa je u nekim slučajevima prva dostupna snimka nekog područja tek iz srpnja.

Sve scene dostupne u navedenom razdoblju su prvo pregledane u EarthExplorer pregledniku te su nakon toga preuzete ako je procijenjeno da je udio oblaka na prostoru JH zadovoljavajuće mali. Korištenje procijenjene površine oblaka u metapodacima nije bilo pretjerano korisno jer prostor JH često zauzima manji udio scene. Scene koje pokrivaju manji prostor, ponajprije 190/28 i 191/29 nisu preuzete ako je zaključeno da je dobra pokrivenost susjednih scena. U idealnom slučaju bi za cijeli prostor JH trebale biti dostupne scene za svaki mjesec u sezoni, što često nije ostvareno. Valja napomenuti kako Landsat arhive dostupne na internetu nisu u potpunosti popunjene, pa tako primjerice nije pronađena

ni jedna Landsat 7 scena 188/30 iz rujna 2003., što onemogućava detekciju velikog požara na Lastovu jer su na svim ostalim snimkama tog prostora prisutni oblaci.

Preuzeto je ukupno 1472 Landsat scena u kojima je obuhvaćeno cijelo područje JH za razdoblje od 1985. do 2018. Preuzete staze i redovi za svaku godinu vidljivi su na tab. 7, a njihov prostorni raspored prikazan je na sl. 8. Broj preuzetih scena po godini varira između 30 i 60 te je veća mogućnost kako neko opožareno područje neće biti uočeno u godinama s manjim brojem preuzetih scena.

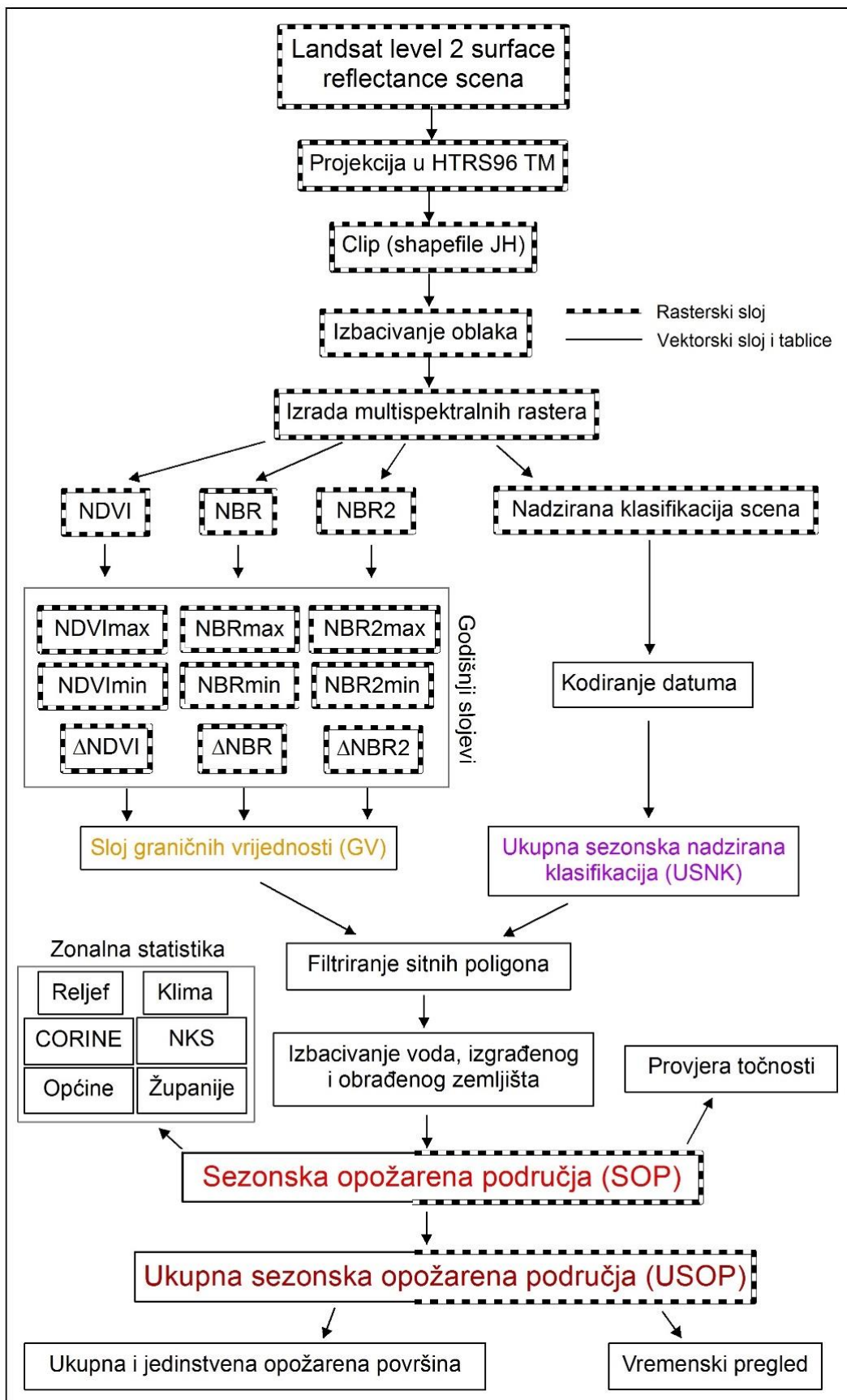
Tab. 7. Broj preuzetih scena koje su se koristile u klasifikaciji prema godini i WRS2 oznaci

Godina	187 / 30	188 / 30	189 / 29	189 / 30	190 / 28	190 / 29	191 / 28	191 / 29	Ukupno
1985	5	4	2	4	3	4	3	5	30
1986	8	7	4	5	5	6	3	2	40
1987	6	8	4	4	4	7	1	1	35
1988	7	5	5	4	2	3	5	4	35
1989	6	6	3	3	3	6	4	4	35
1990	5	7	7	7	4	6	6	5	47
1991	8	5	9	9	5	5	7	6	54
1992	8	5	6	8	5	5	6	5	48
1993	7	5	4	6	4	5	7	6	44
1994	6	7	5	5	5	4	5	5	42
1995	3	9	5	6	3	5	4	4	39
1996	5	6	4	4	2	4	4	5	34
1997	7	6	7	8	2	5	4	5	44
1998	6	7	9	8	8	8	8	6	60
1999	7	7	4	5	4	5	5	4	41
2000	4	7	7	7	5	8	4	4	46
2001	5	7	4	6	5	7	3	2	39
2002	8	5	5	6	4	4	4	2	38
2003	6	6	5	7	4	4	5	3	40
2004	7	6	5	6	5	5	4	2	40
2005	5	5	6	7	5	6	5	2	41
2006	5	6	5	5	3	4	4	4	36
2007	4	6	8	4	8	6	4	5	45
2008	6	8	11	10	5	6	6	2	54
2009	6	7	6	6	4	6	6	6	47
2010	4	6	4	6	4	8	7	4	43
2011	6	8	4	4	4	5	4	4	39
2012	6	2	6	7	2	4	4	3	34
2013	5	10	7	8	5	6	5	4	50
2014	6	9	4	4	5	6	4	6	44
2015	9	7	6	6	7	7	7	8	57
2016	6	6	6	7	6	9	5	6	51
2017	7	6	6	7	5	7	8	7	53
2018	5	8	6	6	4	7	5	6	47
Ukupno	204	219	189	205	149	193	166	147	1472

Preuzete scene su odmah projicirane u HTRS96TM referentni sustav te su izrezane prema shapefileu JH kako bi se smanjio zauzeti prostor na tvrdom disku. Nakon toga izvršeno je maskiranje oblaka i njihovih sjena na temelju pixel_qa kanala koji se nalazi u svakoj Level 2 Landsat sceni. Pixel_qa kanal je dobiven primjernom FMask algoritma (Zhu i Woodcock, 2012) za maskiranje oblaka te sadrži podatke u vjerojatnosti pojave oblaka i prisutnosti vode, sjena i snijega. Navedeni postupci izvršeni su samo za kanale 1, 2, 3, 4, 5 i 7 TM i ETM+ senzora te 2, 3, 4, 5, 6 i 7 OLI senzora. Na temelju navedenih kanala su zatim izrađeni multispektralni rasteri na kojima je zatim primijenjen postupak klasifikacije (sl. 15).

SOP sloj kao krajnji rezultat procesa klasifikacije postoji u rasterskom i vektorskom obliku. Na temelju rasterskog sloja su izračunate zonalne statistike dok vektorski oblik sadrži i informacije o datumima pa se on koristi za analizu vremenske raspoređenosti požara. Za obradu podataka korišteni su Qgis i ArcGIS softver, a cijeli proces obrade (sl. 15) je automatiziran pomoću skripta u Python programskom jeziku.

Temelj istraživanja provedenog u ovom radu je obrada velikog broja Landsat scena. Iako su prve Landsat snimke dostupne još iz 70-ih godina dvadesetog stoljeća, obrada velikog broja scena za analize većih prostornih i vremenskih obuhvata postaje moguća znatno kasnije kada dolazi do povećanja brzine interneta. Razvoj *cloud* servisa poput *Google Earth Engine* platforme uklanja potrebu preuzimanja scena, a to znači da brzina obrade podataka više nije ograničena specifikacijama osobnog računala što najčešće znači puno brži i jednostavniji proces obrade podataka.

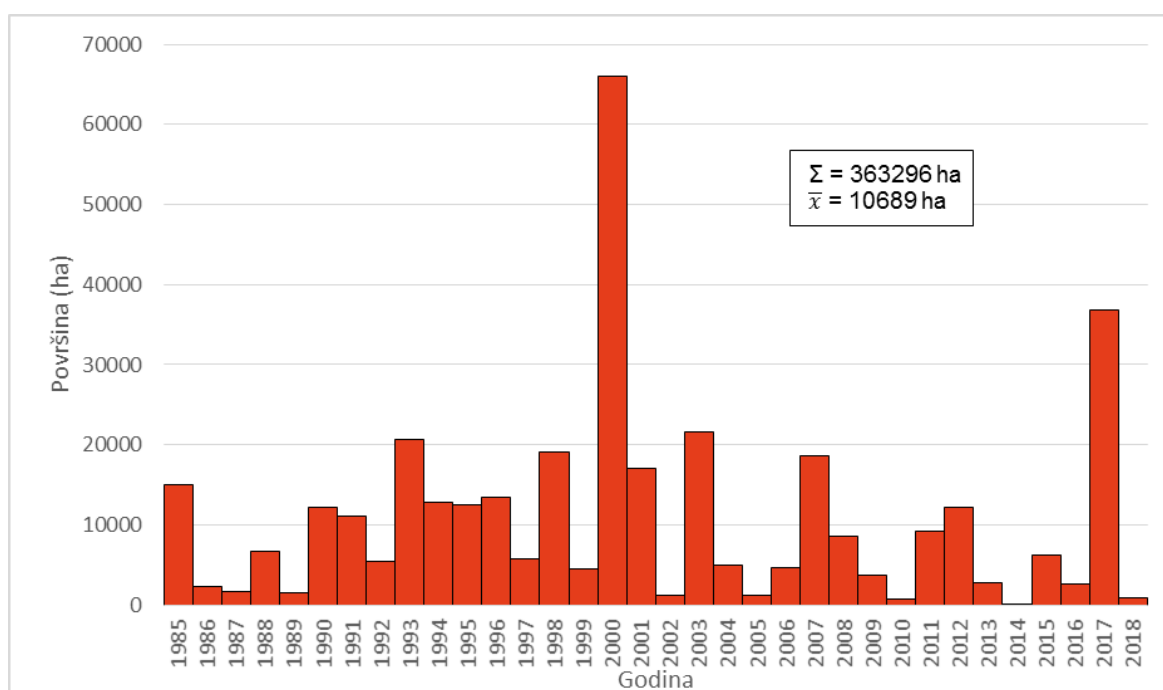


Sl. 15. Pojednostavljeni model obrade podataka korišten u ovom radu

4. Rezultati istraživanja

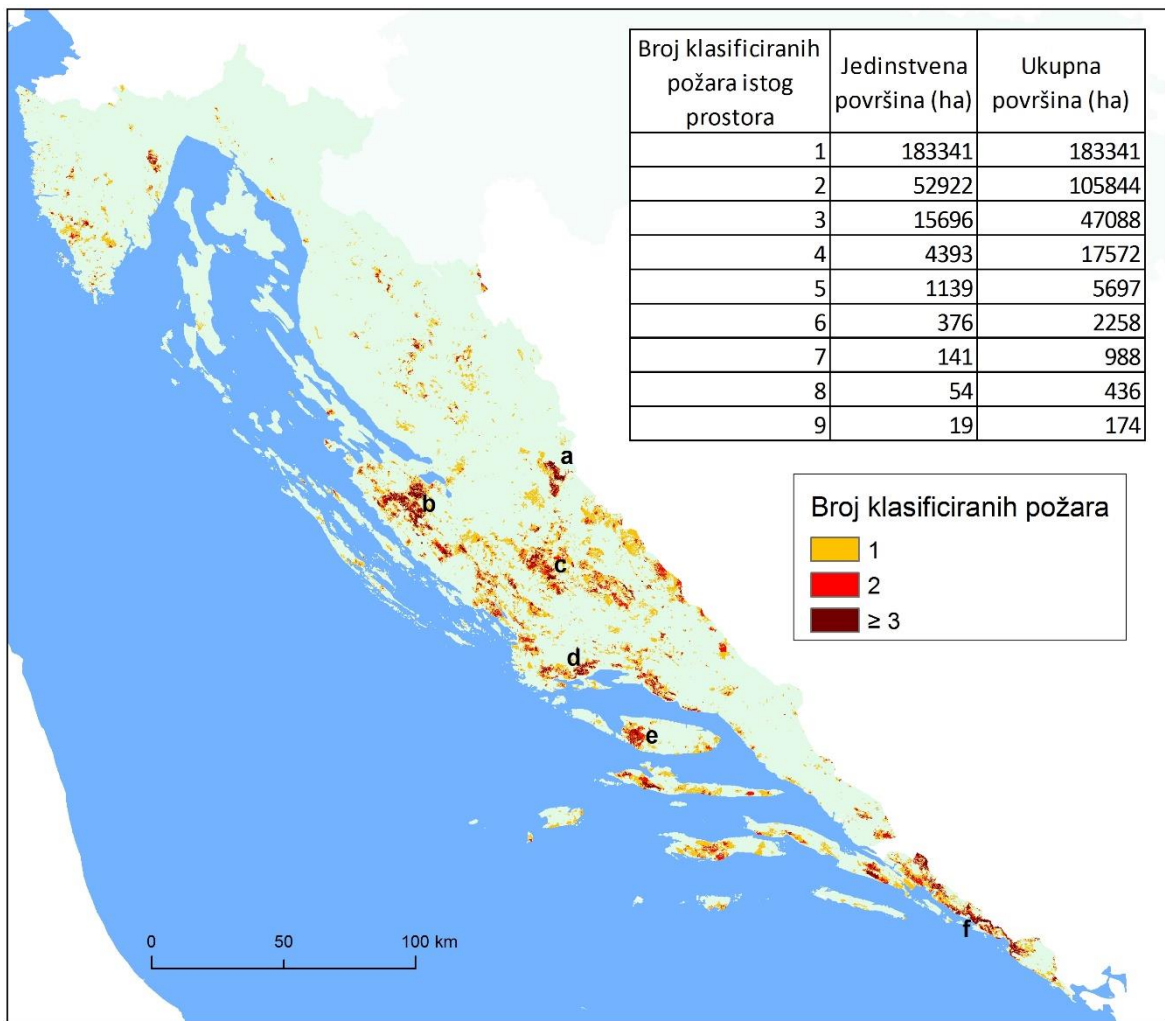
4.1. Pregled požarnih sezona

Pregledom ukupnih sezonskih opožarenih površina (sl. 16.) se ne uočava trend pada opožarene površine tokom vremena, nego znatna varijabilnost požarnih sezona.. Najmanje požara određeno je u sezoni 2014. godine kada je klasificirano samo 146 hektara požarišta na cijelom području JH dok je najveća opožarena površina klasificirana 2000. godine (66067 ha). Navedena varijabilnost posebno dolazi do izražaja u 21. stoljeću kada se periodično počinju pojavljivati požarne sezone s vrlo malom opožarenom površinom. Ovaj rad neće analizirati čimbenike koji utječu na varijabilnost požarnih sezona.



Sl. 16. Pregled opožarenih površina za sve požarne sezone istražene u ovom radu

Sloj ukupnih sezonskih opožarenih područja (USOP) nastao je spajanjem SOP slojeva za sve godine te su na njemu zabilježeni svi klasificirani požari u ovom radu (sl. 17). Na navedenoj slici su prikazana i područja na kojima su tokom godina požari klasificirani više puta. Ukupna površina svih područja na kojima su se pojavljivali požari se dalje u tekstu naziva jedinstvenom opožarenom površinom te se ona razlikuje od ukupne opožarene površine jer se požari tokom cijelog promatranog razdoblja mogu pojavljivati više puta na istom prostoru.



Sl. 17. Pregled područja na kojima su u razdoblju 1985. – 2018. klasificirani požari te njihovog ponavljanja na istom prostoru uz označena područja čestog ponavljanja požara

Na sl. 17 je vidljivo kako se požari nerijetko ponavljaju na istom prostoru i to ponajprije dva ili tri puta. Mogu se izdvojiti iduća kritična područja (označena slovima na sl. 17) gdje najčešće dolazi do ponavljanja požara:

- a) Otrić-Pribudić-Bijeli vrh (općine Knin i Gračac)
- b) Prostor Zadarskog zaleđa
- c) Okolica Drniša
- d) Kaštela i Trogir
- e) Općina Milna
- f) Dubrovnik i Dubrovačko primorje

Svojstva veličine, učestalosti, intenziteta i sezonalnosti požara nekog područja kroz višegodišnje razdoblje se često zajednički nazivaju režimom požara (Chuvieco, 2009). Požari mogu i pogodovati razvoju lokalnog ekosustava kada su oni dio višegodišnjeg režima kojem je vegetacija prilagođena dok će promjene režima često imati negativne posljedice.

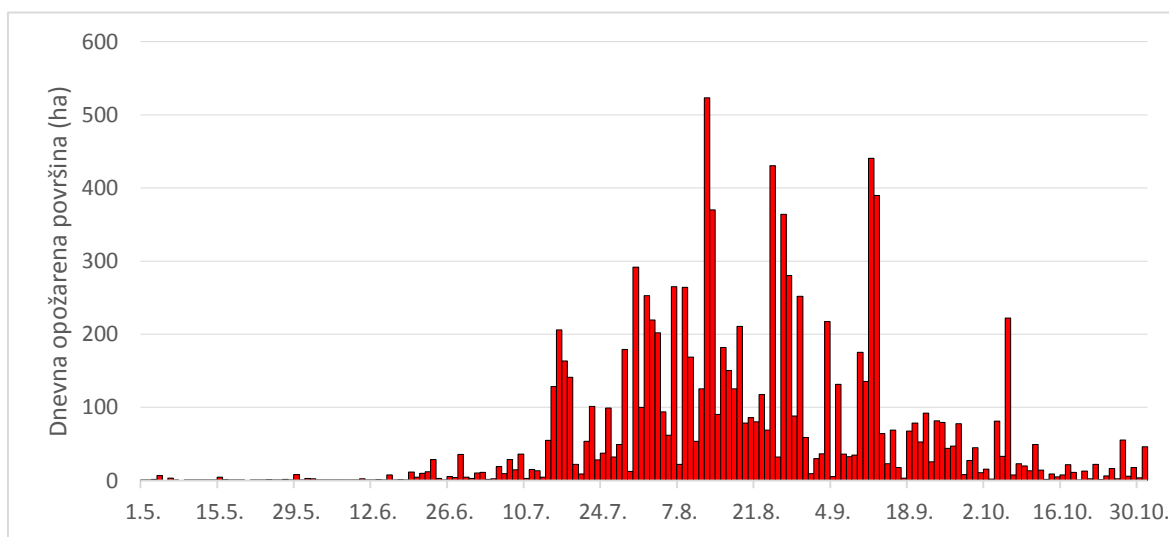
Dakle, veća pojavnost požara na navedenim kritičnim područjima ne mora nužno imati negativan utjecaj na taj prostor, ali za potpuno razumijevanje navedene problematike trebalo bi analizirati požare kroz višestoljetno razdoblje. To se može usporediti sa pojavom suša ili poplava koje mogu biti dio prirodnog ciklusa koji se ponavlja već tisućama godina, ali njihov intenzitet može biti pojačan klimatskim promjenama u posljednjim desetljećima pa mogu imati i negativan utjecaj na lokalni ekosustav, a isto vrijedi i za požare.

Obilježavanje svih opožarenih područja atributom datuma omogućuje pregled mjesečnog i dnevnog rasporeda požara tokom sezone. Iz tab. 8 je vidljivo kako je više od polovice opožarenih područja klasificirano u kolovozu dok ih je preko 90% klasificirano u srpnju, kolovozu i rujnu.

Tab. 8. Mjesečni pregled opožarenih površina na temelju USOP podataka

Mjesec	Ukupna opožarena površina 1985 - 2018 (ha)	Prosječna mjesečna opožarena površina (ha)
Svibanj	1134	33
Lipanj	4942	145
Srpanj	61084	1797
Kolovoz	183590	5400
Rujan	86101	2532
Listopad	26451	778

Na dnevnom rasporedu klasifikacije požara (sl. 18) se mogu uočiti znatne razlike između susjednih datuma što je posljedica vremenske rezolucije Landsat senzora i velikih požara koji su klasificirani određenih datuma pa to ne može biti stvarno stanje na terenu. Može se zaključiti kako je prikladnije prikazivanje tih podataka na temelju mjesečnih vrijednosti.



Sl. 18. Prosječna dnevna opožarena površina u razdoblju 1985-2018 prema USOP podacima

4.2. Požari prema administrativnom ustroju

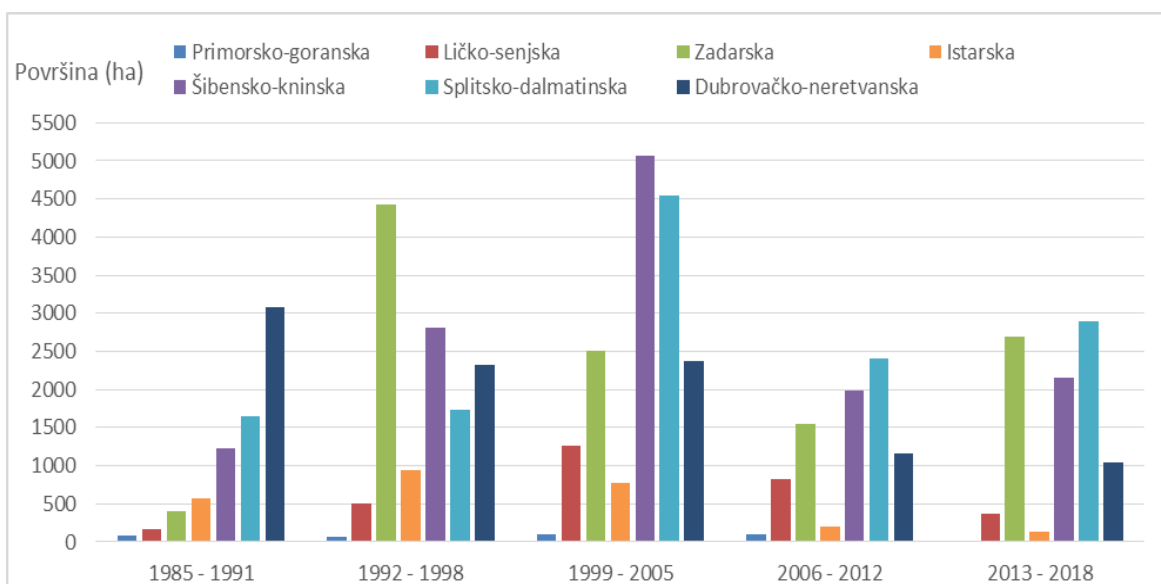
Analiza opožarenih površina prema jedinicama lokalne i područne samouprave daje uvid u njihovu prostornu varijabilnost. Na tab. 9 se mogu vidjeti rezultati zonalne statistike provedene na temelju sloja županija i USOP sloja. Usporedba opožarenih površina županija prikazana je prosječnom sezonskom opožarenom površinom te njezinim udjelom u površini županije kako bi se omogućila relativna usporedba. Znatne razlike u opožarenoj površini županija trebalo bi detaljno analizirati u budućim istraživanjima jer one ne moraju biti posljedica samo fizičko-geografskih karakteristika svake županije, nego i društveno-geografskih čimbenika te načinom upravljanja vatrogasnim postrojbama.

Kako bi se istražila opožarena površina kroz vrijeme, određena su vremenska razdoblja u trajanju od 7 godina za koje su izračunate prosječne vrijednosti opožarene površine za svaku županiju. Razlog određivanja srednjih vrijednosti na temelju višegodišnjih razdoblja je već spomenuta velika varijabilnost između susjednih sezona (sl. 16).

Analizom višegodišnjih razdoblja (sl. 19) utvrđeno je kako je prostor današnje Zadarske županije imao vrlo malu prosječnu opožarenu površinu u sezonama 1985. – 1991. nakon čega dolazi do velikog rasta u idućem sedmogodišnjem razdoblju dok je u posljednjem razdoblju (koje traje 6 godina) prisutna i dalje vrlo visoka površina od 2700 hektara po sezoni. Dubrovačko-neretvanska županija bilježi stalan pad dok Istarska županija bilježi znatan pad u posljednja 2 razdoblja. Šibensko-kninska i Splitsko-dalmatinska županija imaju iznimno visoke vrijednosti u razdoblju 1999. - 2005. dok između ostalih razdoblja ne bilježe znatne razlike.

Tab. 9. Pregled opožarenih površina prema županijama

Županija	Ukupna opožarena površina 1985 - 2018 (ha)	Jedinstvena opožarena površina 1985 - 2018 (ha)	Najveća požarna sezona	Prosječna sezonska opožarena površina (ha)	Sezonski opožareni udio županije
Primorsko-goranska	2456	2198	2012 (513 ha)	72	0,02%
Ličko-senjska	21430	17724	2003 (4357 ha)	631	0,12%
Istarska	18336	14708	1994 (3543 ha)	537	0,19%
Splitsko-dalmatinska	87871	64281	2000 (17724 ha)	2586	0,57%
Zadarska	76025	46381	2017 (11994 ha)	2237	0,61%
Šibensko-kninska	89407	68257	2000 (23693 ha)	2629	0,88%
Dubrovačko-neretvanska	67772	44411	2000 (13208 ha)	1996	1,12%
Jadranska Hrvatska	363296	257960	2000 (66067 ha)	10689	0,43%



Sl. 19. Kretanje srednjih sedmogodišnjih površina prema županijama

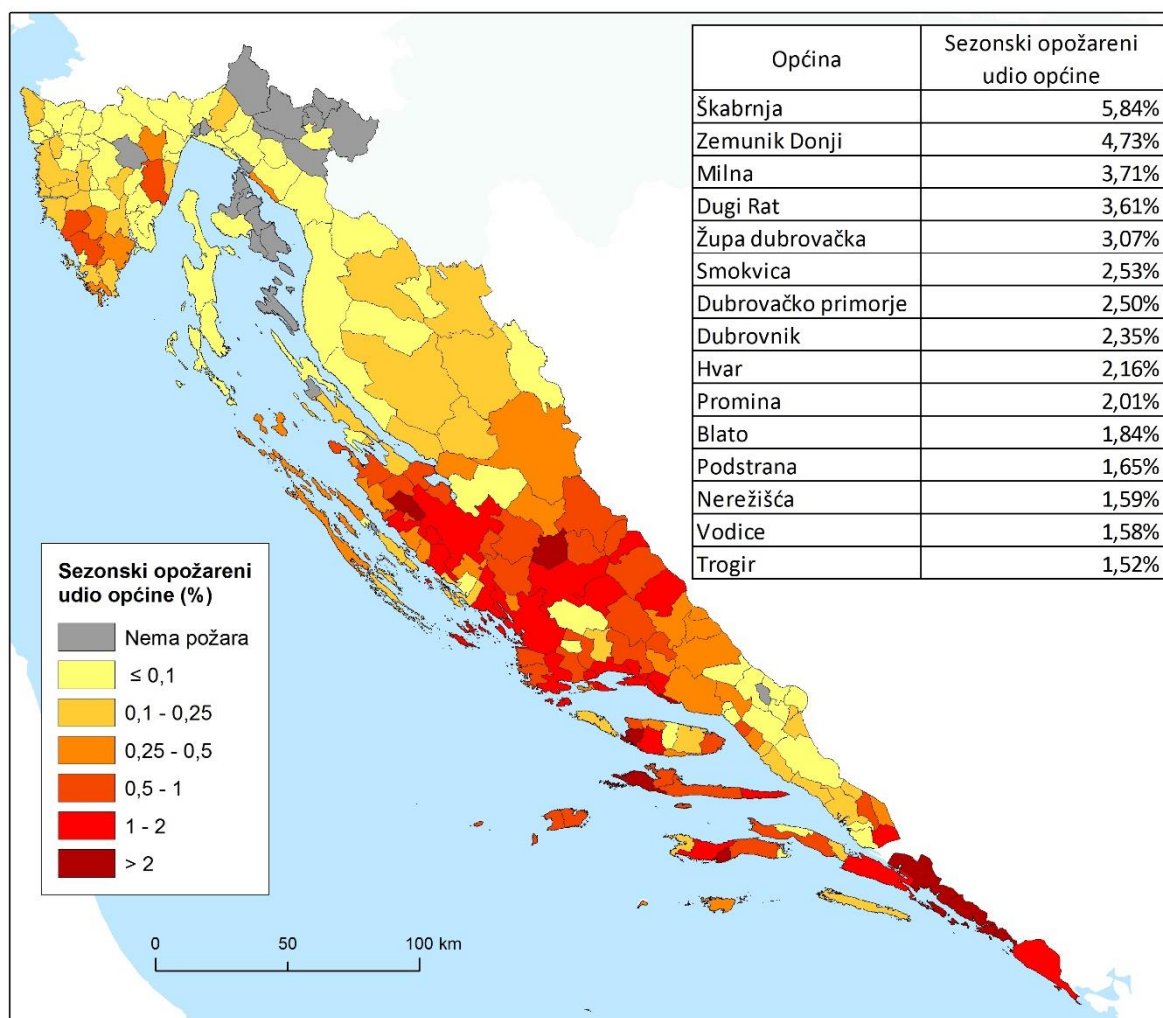
Detaljniji pregled prostorne distribucije požara prikazan je na sl. 20 gdje su kao temelj zonalne statistike uzete sve općine i gradovi JH. Potrebno je uzeti u obzir kako sezonski opožareni udio općine ne ukazuje na učestalost požara te da se taj pokazatelj temelji na cijelom promatranom razdoblju 1985. - 2018. i kao takav ne mora predstavljati trenutnu ugroženost od požara svake općine. Ponekad više od 50% općine izgori u jednom požaru (primjerice općina Smokvica 1998. ili općina Milna 2011.) što znatno utječe na sezonski opožareni udio općine. Visoki opožareni udio općina može dakle biti posljedica velikog broja manjih, ili nekoliko većih požara.

Jedinice lokalne samouprave s najvećom prosječnom sezonskom opožarenom površinom (tab. 10) su uglavnom veće općine ili gradovi čije javne vatrogasne postrojbe moraju biti dobro opremljene kako bi što prije spriječile širenje požara.

Tijekom cijelog promatranog razdoblja nije zabilježen ni jedan požar u 21 od 215 općina (sl. 20). Većina općina bez klasificiranih požara (17) nalazi se u Primorsko-goranskoj županiji koja ima najmanju opožarenu površinu (tab. 10). Općine Škabrnja, Zemunik i Promina su znatno opožarene gotovo svake godine dok je veliki sezonski opožareni udio općina Milne, Smokvice te Grada Dubrovnika i Hvara posljedica nekoliko većih požara.

Tab. 10. Pregled 15 općina sa najvećom prosječnom sezonskom opečarenom površinom

Općina	Prosječna sezonska opečarena površina (ha)
Benkovac	617
Drniš	514
Dubrovačko primorje	492
Šibenik	414
Gračac	375
Dubrovnik	335
Promina	279
Zemunik Donji	260
Konavle	258
Knin	237
Ružić	232
Ston	227
Hrvace	223
Gospić	196
Skradin	178



Sl. 20. Pregled općina prema opečarenom udjelu u njihovoj površini te podaci o 15 općina sa najvećim vrijednostima

4.3. Zemljišni pokrovi zahvaćeni požarima

S obzirom da se zemljišni pokrov mijenja prolaskom vremena, potrebno je uzeti u obzir godinu nastanka sloja zemljišnog pokrova kada se radi zonalna statistika na temelju SOP sloja. Primjerice, ako je na istom prostoru u novijem sloju zemljišnog pokrova određena klasa neobraslih površina, a na starijem sloju određena je klasa šuma, onda se sloj novijeg zemljišnog pokrova ne može usporediti sa SOP slojem iste ili ranije godine jer će izgledati kao da je požar obuhvatio klasu neobraslih površina dok je u stvarnosti požar uvjetovao prelazak iz klase šuma u klasu neobraslih površina. To vrijedi i za godinu u kojoj je nastao zemljišni pokrov jer primjerice klasa zemljišnog pokrova može biti određena u rujnu dok je na tom prostoru požar bio u kolovozu. Cilj je dakle bio odrediti klasu zemljišnog pokrova koja je bila opožarena, a ne klasu koja je nastala djelovanjem požara stoga sloj zemljišnog pokrova mora biti starijeg nastanka od SOP sloja.

Zonalna statistika na temelju NKS osnovne klasifikacije određena je za SOP sloj iz 2017. godine (tab. 11). Razlog toga je činjenica da je NKS sloj nastao 2016. godine, a 2018. godina je imala vrlo malu opožarenu površinu (sl. 16) pa je zonalna statistika provedena samo za jednu godinu. Na tablici su prikazane samo klase na kojima su klasificirani požari (klase G, H i K zato nisu prisutne). Klase F i A imaju zanemarivo mali opožareni udio dok je klasa J zanimljiva iz razloga što su sva izgrađena područja uklonjena u procesu klasifikacije na temelju sloja koji se razlikuje od klase J pa je taj rezultat vrlo upitan. Interpretacija ostalih klasa ukazuje kako je klasa šuma relativno manje opožarena od ostalih klasa prirodne vegetacije dok su kultivirane površine najmanje opožarene.

Tab. 11. Opožarena površina osnovnih NKS klasa

NKS osnovna klasa	Opožarena površina 2017.	Opožareni udio klase
F Morska obala	2	0,0%
A Površinske kopnene vode i močvarna staništa	9	0,0%
J Izgrađena i industrijska staništa	62	0,1%
I Kultivirane nešumske površine i staništa s korovnom i ruderalnom vegetacijom	1430	0,6%
E Šume	12661	0,9%
B Neobrasle i slabo obrasle kopnene površine	822	1,5%
D Šikare	3419	2,5%
C Travnjaci, cretovi i visoke zeleni	18435	3,2%
UKUPNO	36841	1,5%

Za razdoblje 1991. – 2018. provedena je zonalna statistika CORINE pokrova i SOP slojeva (tab. 12). Za sve SOP slojeve u razdoblju 1991. – 2000. izračunata je zonalna statistika na temelju CORINE 1990. sloja, za SOP slojeve u razdoblju 2001. – 2006. zonalna statistika izračunata je na temelju CORINE 2000. sloja te su na isti način izračunate i ostale godine sa CORINE 2006 i CORINE 2012 slojevima. Zbrajanjem rezultata svih zonalnih statistika u navedenom razdoblju dobiveni su rezultati prikazani na tab. 13. Opožarena površina sezona prije 1991. nije izračunata zbog nedostupnosti CORINE slojeva prije 1990. godine.

Tab. 12. Opožarena površina CORINE klasa 2. razine u razdoblju 1991. – 2018.

CORINE 2. razina	Ukupna opožarena površina 1991. - 2018. (ha)	Najveća požarna sezona	Prosječna sezonska opožarena površina (ha)	Sezonski opožareni udio klase
4 Šume	28082	2017 (5864 ha)	1003	0,10%
7 Ostalo*	3288	2017 (649 ha)	117	0,11%
6 Trajni nasadi	3723	2001 (307 ha)	133	0,28%
3 Raznolike poljoprivredne površine	59472	1995 (5350 ha)	2124	0,53%
1 Grmlje i/ili travnati biljni pokrov	150745	2000 (33293 ha)	5384	0,84%
5 Područja s malo ili bez vegetacije	18108	2000 (4042 ha)	647	0,93%
2 Pašnjaci i livade	60573	2000 (17775 ha)	2163	0,96%
UKUPNO	323991	2000 (66067 ha)	11571	0,47%

*Naseljena područja; umjetni nepoljoprivredni biljni pokrov; Rudokopi, odlagališta i gradilišta; Industrijske ekonomske i prometne površine; Kopnene močvare

Sve CORINE klase 2. razine koje su u promatranom razdoblju imale manju prosječnu sezonsku opožarenu površinu od 100 ha su svrstane pod klasu Ostalo (kojoj pripada 1% ukupnih požarišta) kako bi se omogućila bolja preglednost. Klase su označene brojevima od 1 do 7 prema prosječnoj opožarenoj površini što će kasnije poslužiti za analizu promjene pokrova. Kao i u prethodnom slučaju, klasa šuma je relativno manje opožarena od ostalih tipova vegetacije. Iako opožarena površina šuma vjerojatno predstavlja veću materijalnu štetu od ostalih tipova pokrova, analiza šteta od požara nije cilj ovog rada.

Izrađeni su slojevi promjene CORINE pokrova kako bi se na temelju njih izračunala zonalna statistika SOP slojeva. Tab. 13 uspoređuje svaki tip promjene između CORINE 1990 i CORINE 2018 sloja s jedinstvenom opožarenom površinom zabilježenoj na njemu. Lijeva znamenka (vidi tab. 12 za numeraciju) prikazuje klasu CORINE 1990 sloja dok desna znamenka prikazuje klasu istog područja prema CORINE 2018 sloju. Klase s istim znamenkama ukazuju na područja gdje nije došlo do promjene zemljišnog pokrova.

Tab. 13. Opožarena površina prema klasama promjene između CORINE 1990 i CORINE 2018 sloja

Promjena CORINE pokrova (1990 i 2018)	Jedinstvena opožarena površina (1991. - 2017.) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase	Promjena CORINE pokrova (1990 i 2018)	Jedinstvena opožarena površina (1991. - 2017.) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
1 - 1	72813	15,5%	4 - 6	246	15,7%
1 - 2	2961	40,0%	4 - 7	93	1,3%
1 - 3	3124	11,9%	5 - 1	6360	22,0%
1 - 4	1105	3,3%	5 - 2	737	17,2%
1 - 5	8735	54,3%	5 - 3	158	16,6%
1 - 6	763	22,8%	5 - 4	46	10,1%
1 - 7	400	7,2%	5 - 5	5884	13,8%
2 - 1	40124	24,3%	5 - 6	39	55,2%
2 - 2	13907	13,8%	5 - 7	50	6,6%
2 - 3	2602	13,0%	6 - 1	190	10,3%
2 - 4	156	11,2%	6 - 2	108	26,1%
2 - 5	807	17,5%	6 - 3	859	10,0%
2 - 6	413	34,9%	6 - 4	15	4,7%
2 - 7	354	7,4%	6 - 5	72	58,8%
3 - 1	4951	19,8%	6 - 6	1787	5,4%
3 - 2	1103	15,2%	6 - 7	31	1,9%
3 - 3	32952	9,9%	7 - 1	44	9,0%
3 - 4	127	2,8%	7 - 2	119	10,9%
3 - 5	162	30,8%	7 - 3	95	5,7%
3 - 6	1093	9,7%	7 - 4	0	0,0%
3 - 7	370	2,0%	7 - 5	36	23,6%
4 - 1	10851	25,0%	7 - 6	31	2,1%
4 - 2	622	65,2%	7 - 7	1995	2,3%
4 - 3	1589	15,5%	Ukupno prom.	97717	20,3%
4 - 4	8405	0,9%	Ukupno bez prom.	137743	6,9%
4 - 5	5978	76,6%	UKUPNO	235460	9,5%

Povećanje grmolike i travnate vegetacije uz smanjenje udjela šuma se često povezuje sa djelovanjem požara (Kušan, 2011). Na tab. 13 se vidi kako na klasi prelaska šuma u grmlje (4-1) u većini slučajeva nisu prisutna opožarena područja dok prelazak šuma u pašnjake (4-2) ima veći udio opožarenih površina, ali uz manju površinu navedene klase. Vidljivo je kako klasa prelaska iz šuma u područja bez vegetacije (4-5) ima vrlo velik udio klasificiranih požara što znači da su požari znatno utjecali na promjenu tog tipa dok primjerice prelazak iz šuma u raznolike poljoprivredne površine (4-3) ima relativno niski udio klasificiranih požara pa je veća vjerojatnost kako su drugi procesi, poput sječe šuma, znatno utjecali na navedenu promjenu.

Opožarena površina je veća na područjima kod kojih nije došlo do promjene zemljišnih pokrova (Ukupno bez prom.), no područja kod kojih je došlo do promjene pokrova (Ukupno prom.) imaju znatno veći udio opožarenih površina od 20 % .

S obzirom da se radi u promatranom razdoblju od 27 godina postoji mogućnost kako su požari samo jedan od brojnih procesa koji su se događali unutar navedenog razdoblja i oni ne moraju biti jedini uzrok promjene pokrova. Potrebno je uzeti u obzir i mogućnost statističke greške kod relativnih udjela s malom ukupnom opožarenom površinom.

Kako bi se promotriale promjene u kraćem vremenskom razdoblju izrađene su zonalne statistike na temelju slojeva svih uzastopnih promjena CORINE pokrova (vidi priloge 1., 2., 3. i 4.). Glavni problem takvog pristupa predstavlja godina nastanka CORINE sloja jer ne može biti poznato je li klasa nekog područja na sloju CORINE pokrova iz primjerice 2000. godine nastala prije ili nakon požara tog područja iste godine pa ne može biti poznato je li sloj promjene između 1990. i 2000. zabilježio taj požar.

Ukupna površina podklase požarišta NKS-a iznosi 3173 hektara što na prvi pogled ne odstupa značajno od SOP površine za 2016. sezonu (sl. 16), no daljnjom provjerom navedene klase pronađena su požarišta iz 2010., 2011. i 2012. godine što ne bi trebao biti slučaj ako je izrada karte staništa započela 2014. godine. Klasa požarišta prikazuje samo dio opožarenih područja za navedene godine, te se kao takva ne može koristiti za pregled svih opožarenih područja.

Klasa opožarenih područja CORINE 2018 pokrova prikazuje uglavnom opožarena područja iz 2017. godine, no ukupna površina te klase iznosi 14500 hektara što je znatno manje od površine SOP-a za tu godinu. Prikazana su uglavnom opožarena područja koja dulje zadržavaju spektralna obilježja požarišta. Klase opožarenih područja ostalih CORINE karata također prikazuju opožarene površine iz godine prije nastanka karte, a ponekad iz iste godine kada nastaje karta pokrova te prikazuju znatno manje opožarene površine nego CORINE 2018 karta.

Opožarena područja kao tip pokrova traju kraće razdoblje stoga pokušaji njihovog prikazivanja u višegodišnjim skupovima podataka zemljišnog pokrova ne može biti uspješan. Ako se pretpostavi kako će vrijeme zadržavanja spektralnih osobina opožarenog područja ovisiti o tipu pokrova (sl. 6), to znači da je veća vjerojatnost točne klasifikacije šumskih požara nego požara trava i grmlja te je tu činjenicu potrebno uzeti u obzir kada se interpretiraju rezultati opožarene površine zemljišnih pokrova.

4.4. Reljef i požari

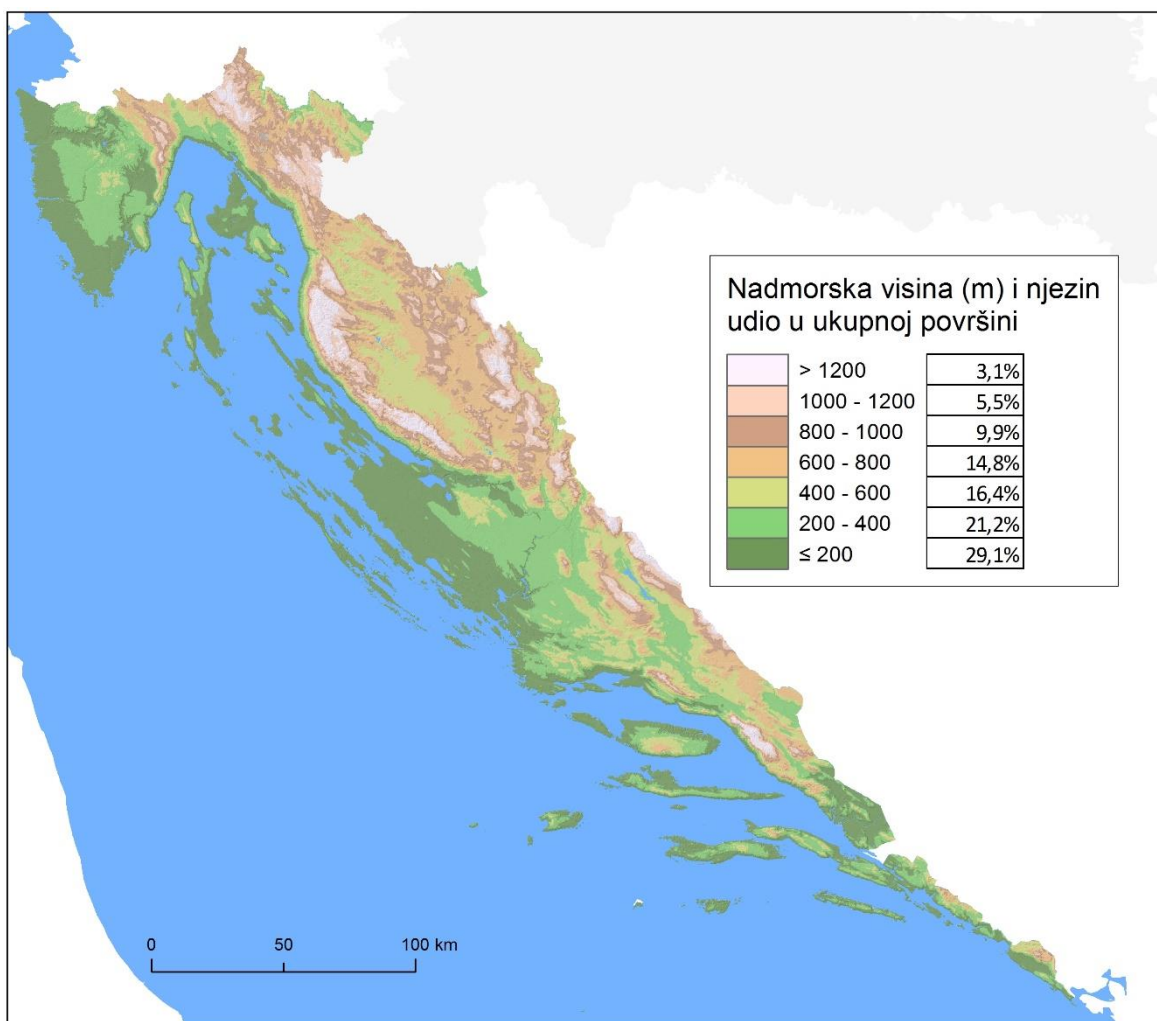
Karakteristike reljefa JH razmotriti će se prema pokazateljima nagiba, nadmorske visine, orijentacije padina i vertikalne raščlanjenosti reljefa. Svi navedeni pokazatelji su klasificirani u razrede koji će služiti kao temelj zonalne statistike USOP sloja. Reljef se međutim ne može promatrati kao zaseban čimbenik koji uvjetuje požare nego su uz njega vezani drugi čimbenici važni za nastanak požara poput primjerice temperature, količine padalina ili zemljišnog pokrova. Reljef također uvjetuje mogućnost gašenja požara pa primjerice vrlo raščlanjen reljef može uvjetovati otežan cestovni pristup vatrogasnim vozilima.

Sve analize reljefa provedene su na temelju ASTER GDEM rastera preuzetih s USGS EarthExplorer stranice. Preuzeti su rasteri koji obuhvaćaju cijeli prostor JH koji su zatim izrezani u oblik JH i projicirani u HTRS96TM referentni sustav kako bi se omogućile daljnje analize.

Uvidom u prostorni raspored razreda nadmorskih visina vidljivo je kako se oko 50% površine JH nalazi na visinama manjim od 400m (sl. 21) dok se na tab. 15 vidi kako nadmorske visine niže od 400 metara imaju relativno veću opožarenu površinu od ostalih razreda. Udio jedinstvene opožarene površine pokazuje odnos jedinstvene i ukupne opožarene površine te će manja vrijednost ukazivati na relativno veće ponavljanje požara na istom prostoru. Požari ipak nisu odsutni na većim nadmorskim visinama te ne postoji trend pada opožarenog udjela uz povećanje nadmorske visine.

Tab. 14. Opožarena površina razreda nadmorskih visina

Nadmorska visina (m)	Ukupna opožarena površina 1985. - 2018. (ha)	Udio jedinstvene opožarene površine	Prosječna sezonska opožarena površina (ha)	Sezonski opožareni udio klase
≤ 200	142218	68,3%	4183	0,58%
200 - 400	105231	69,1%	3095	0,59%
400 - 600	48036	75,3%	1413	0,35%
600 - 800	28759	79,3%	846	0,23%
800 - 1000	17916	76,0%	527	0,22%
1000 - 1200	12140	68,5%	357	0,26%
> 1200	8997	79,7%	265	0,35%



Sl. 21. Nadmorske visine JH i relativan udio površine svakog razreda nadmorske visine

Nagib padina je izračunat pomoću alata *Slope* u ArcGIS softveru koji računa nagib na temelju odnosa vrijednosti između susjednih ćelija. Najveće opožarene površine nalaze se u kategorijama nagiba između 5° i 12° te 12° i 32° (tab. 15). Nagibi manji od 5° imaju veći relativni udio opožarenih površina dok kategorije većeg nagiba imaju manji opožareni udio. Nagibi veći od 55° imaju zanemarivo malu opožarenu površinu.

Tab. 15. Opožarene površine prema razredima nagiba padina

Nagib padina ($^\circ$)	Ukupna opožarena površina 1985. - 2018. (ha)	Udio jedinstvene opožarene površine	Prosječna sezonska opožarena površina (ha)	Sezonski opožareni udio klase
0 - 2	35757	67,9%	1052	0,53%
2 - 5	93829	69,4%	2760	0,51%
5 - 12	117780	73,0%	3464	0,41%
12 - 32	106378	71,4%	3129	0,39%
32 - 55	9511	68,2%	280	0,39%
> 55	42	79,9%	1	0,18%

Orijentacija padina izračunata je pomoću *Aspect* alata nakon čega je podijeljena na 8 klasa od kojih svaka zauzima širinu kuta od 45°. Južne, jugozapadne i zapadne padine su znatno više opožarene od ostalih padina (tab. 16). To može biti posljedica veće osunčanosti tih padina, vegetacijskog pokriva koji se na njima nalazi ili pak nekog drugog čimbenika.

Tab. 16. Opožarena površina padina različite orijentacije

Orijentacija padina	Ukupna opožarena površina 1985. - 2018. (ha)	Udio jedinstvene opožarene površine	Prosječna sezonska opožarena površina (ha)	Sezonski opožareni udio klase
Sjever	37152	71,0%	1093	0,37%
Sjeveroistok	36869	71,1%	1084	0,33%
Istok	32228	72,2%	948	0,35%
Jugoistok	33794	72,5%	994	0,42%
Jug	62091	71,5%	1826	0,51%
Jugozapad	75228	70,4%	2213	0,53%
Zapad	52145	69,7%	1534	0,49%
Sjeverozapad	33341	70,6%	981	0,42%

Vertikalna raščlanjenost reljefa izračunata je pomoću *Focal Statistics* alata gdje je za svaku ćeliju izračunata najveća razlika nadmorske visine unutar kruga površine 1 km² oko nje. Nisu utvrđene znatne razlike u opožarenom udjelu klasa vertikalne raščlanjenosti, dok je veća opožarena površina kod klase najmanje raščlanjenosti posljedica veće zastupljenosti te klase (tab. 17).

Tab. 17. Opožarena površina prema vertikalnoj raščlanjenosti reljefa

Vertikalna raščlanjenost reljefa (m/km ²)	Ukupna opožarena površina 1985. - 2018. (ha)	Udio jedinstvene opožarene površine	Prosječna sezonska opožarena površina (ha)	Sezonski opožareni udio klase
≤ 75	124461	67,8%	3661	0,42%
75 - 150	79318	75,8%	2333	0,32%
150 - 225	69891	74,3%	2056	0,36%
225 - 300	45162	70,5%	1328	0,40%
> 300	44634	66,9%	1313	0,46%

U konačnici se može zaključiti kako su niži prostori manjeg nagiba padina s južnom, ili zapadnom orijentacijom najpogodniji za požare dok nije ustanovljena značajnija razlika u ponavljanju požara prema svojstvima reljefa.

4.5. Klimatološke značajke

Klimatološke značajke će biti uspoređene s prostornom distribucijom opožarenih područja. Od klimatskih elemenata su odabrani srednjaci temperature i količine padalina. Odabrano je 13 meteoroloških postaja (klimatski dijagrami navedenih stanica nalaze se u prilogu 5.) za koje su dostupni podaci na stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZa). S obzirom da su svi klimatološki podaci izmjereni na jednoj točki, potrebno je prostorno aproksimirati navedene podatke. Jedan od najčešćih pristupa tom problemu je regresijski kriging (DHMZb), no u ovom radu će se primijeniti jednostavniji pristup zbog malog broja točaka meteoroloških postaja. Aproksimacija temperature i padalina će biti provedena na temelju udaljenosti i razlike u nadmorskoj visini od meteorološke postaje korištenjem digitalnog modela reljefa, *buffera* i Thiessenovih poligona.

Svaka točka nekog prostora poprimiti će obilježja vrijednosti meteorološke postaje od koje ne smije biti udaljena više od 30 kilometara te ne smije imati razliku u nadmorskoj visini veću od 300 metara od visine na kojoj se nalazi meteorološka postaja. Ako se neki prostor zadovoljava navedene uvjete za više postaja, uzimaju se vrijednosti bliže meteorološke postaje. Navedeni uvjeti su zadovoljeni za približno 50% prostora JH.

Vrijednosti navedenih pokazatelja su uzete samo za srpanj, kolovoz i rujan jer je preko 90% požara klasificirano u navedenim mjesecima (tab. 8). Izračunata je srednja tromjesečna temperatura na temelju srednjih temperatura svakog od navedenih mjeseca, dok je srednja tromjesečna količina padalina dobivena zbrajanjem srednje mjesečne količine padalina. Navedene vrijednosti su svrstane u klase na temelju kojih je provedena zonalna statistika USOP sloja.

Na tab. 19 i 20 vidljivo je kako je veća učestalost opožarenih područja na prostorima sa manje padalina i većom srednjom temperaturom, no valja uzeti u obzir kako su vrijednosti zona aproksimirane na temelju malog broja meteoroloških postaja te stoga ne moraju biti vrlo precizne. Idući problem je činjenica da navedene zone ne pokrivaju cijeli prostor JH, pa je moguće kako bi područje gdje su česti požari koje nije unutar zona znatno utjecalo na rezultate. Potrebno je provesti detaljnije istraživanje kako bi se utvrdilo postojanje statistički značajne korelacije između klimatskih elemenata i opožarene površine.

Tab. 18. Opožarena površina prema srednjoj temperaturi srpnja, kolovoza i rujna

Srednja tromjesečna temperatura (°C)	Ukupna opožarena površina (ha)	Opožareni udio zone
≤ 14	95	0,6%
14 - 16	183	0,3%
16 - 18	13459	8,0%
18 - 20	14012	6,4%
20 - 22	32739	25,0%
22 - 24	120112	26,5%
> 24	25391	26,5%

Tab. 19. Opožarena površina prema ukupnoj količini padalina srpnja, kolovoza i rujna

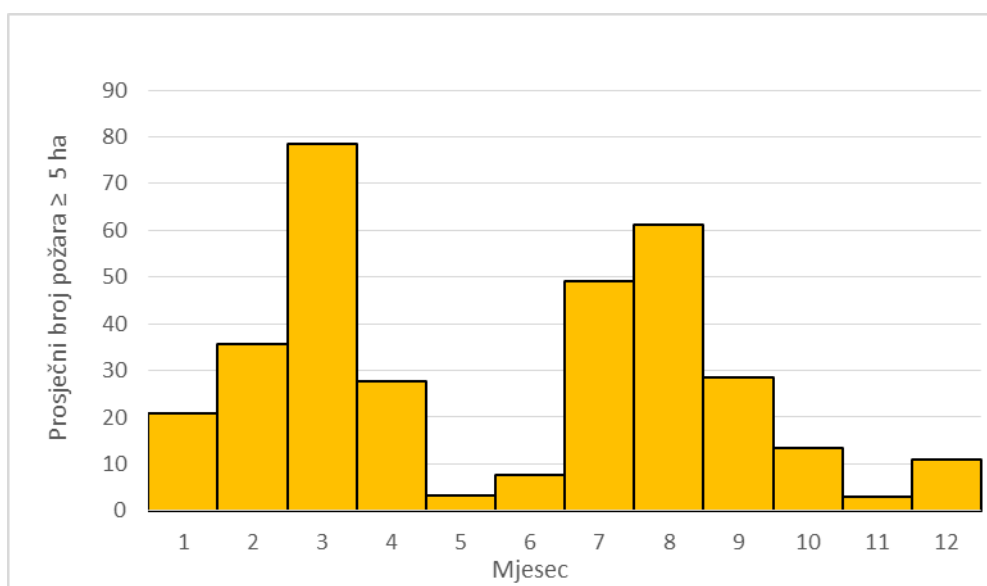
Tromjesečna količina padalina (mm)	Ukupna opožarena površina (ha)	Opožareni udio zone
≤ 150	39281	29,9%
150 - 200	57102	35,5%
200 - 250	80463	27,2%
250 - 300	28366	6,6%
300 - 350	501	1,0%
350 - 400	95	0,6%
> 400	183	0,3%

5. Rasprava

5.1. Referentni podaci o požarima

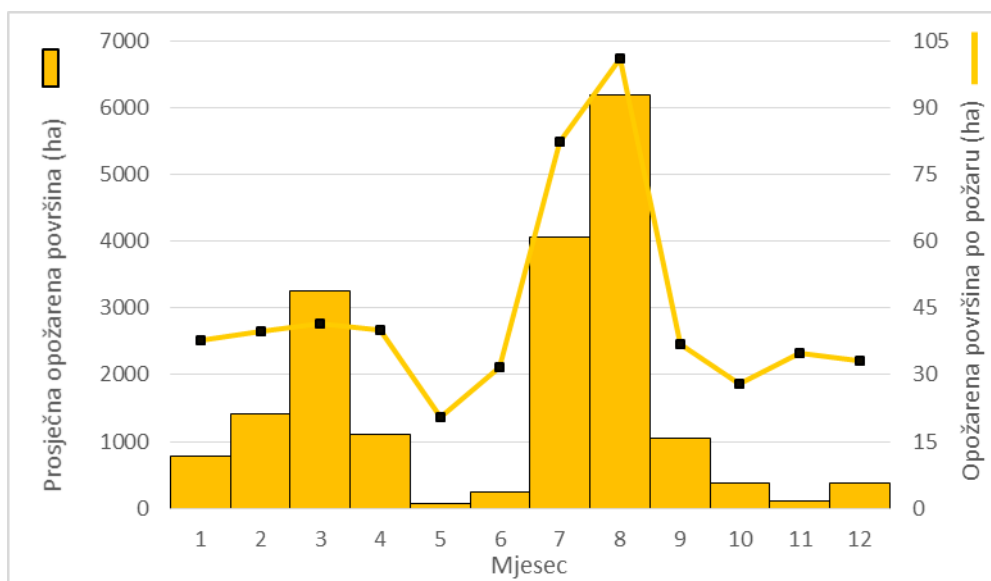
Kako bi se utvrdila točnost klasifikacije požara potrebno je imati kvalitetne referentne podatke s kojima se rezultati klasifikacije mogu uspoređivati. Evidenciju požara za Republiku Hrvatsku vodi Vatrogasno operativno središte (VOS) Državne uprave za zaštitu i spašavanje (DUZS). Dobivena je evidencija svih požara JH procijenjene površine ≥ 5 ha za razdoblje od 2003. do kraja 2018. godine. Svaki požar u navedenoj evidenciji ima informacije o datumu prijave požara, opisanu lokaciju, tip zemljišnog pokrova te procijenjenu opožarenu površinu.

Na sl. 22 se vidi kako se požari najčešće pojavljuju u ožujku, što je poprilično iznenađujući podatak ako se u obzir uzmu temperatura i količina padalina tog mjeseca, no potrebno je u obzir uzet i druge čimbenike poput pojave bure ili pak poljoprivredne aktivnosti koje bi mogle znatno utjecati na učestalost požara.



Sl. 22. Prosječni mjesečni broj požara ≥ 5 ha prema podacima za razdoblje 2003. – 2018. Izvor: Izradio autor prema podacima VOS-a

Sl. 23 prikazuje da su prema podacima VOS-a najveće opožarena površine u srpnju i kolovozu što znači da su požari tada znatno veći nego u ožujku kada ih ima više, a to se vidi na pokazatelju prosječne površine po požaru. To se moglo i očekivati s obzirom da se radi o ljetnim mjesecima kada može doći do suša i vrlo visokih temperatura što bi trebalo pogodovati požarima.



Sl. 23. Prosječna mjesečna opečarena površina i površina po požaru za razdoblje 2003. – 2018.

Izvor: Izradio autor prema podacima VOS-a

Uvidom u odnos opečarene površine i broja požara na tab. 20 se vidi kako približno 1% najvećih požara prouzrokuje gotovo 40% ukupne opečarene površine te se može zaključiti kako je potrebno posebnu pozornost obratiti na točnu klasifikaciju velikih požara. Od ukupno 2607 požara u požarnoj sezoni za navedeno razdoblje više od 80 % ih ima manju procijenjenu površinu od 50 hektara koji pak čine samo 15 % opečarene površine.

Tab. 20. Usporedba broja požara prema razredima procijenjene opečarene površine za razdoblje 2003. – 2018.

Procijenjena površina požara (ha)	Broj požara	Udio	Površina klase	Udio u ukupnoj površini
5 - 10	938	36,0%	6071	3,2%
10 - 50	1178	45,2%	23150	12,1%
50 - 300	360	13,8%	38849	20,2%
300 - 1000	96	3,7%	47764	24,9%
> 1000	35	1,3%	76016	39,6%
Ukupno	2607	100,0%	191848	100,0%

Izvor: Izradio autor prema podacima VOS-a

Osim referentnih podataka temeljenih na terenskoj procijeni, koristiti će se FireCCI51 skup podataka (Chuvieco i dr., 2018) koji je dobiven klasifikacijom MODIS snimka. Fire_cci je projekt *Climate Change Initiative* (CCI) programa kojeg vodi Europska svemirska agencija (ESA). Na temelju Fire_cci projekta je nastalo više skupova podataka koji predstavljaju opečarene površine poput FireCCI41 i FireCCI31 produkta koji su napravljeni na temelju MERIS senzora, no s obzirom da FireCCI51 ima bolju točnost od njih (Chuvieco i dr., 2018) odlučeno je kako će se samo on koristiti kao referentni podatak u ovom radu. FireCCI51

produkt dostupan je za svaki mjesec te je u trenutku izrade ovog rada dostupan za razdoblje od siječnja 2001. do prosinca 2017. godine.

Glavni nedostatak navedenih podataka je prostorna rezolucija od 250 m koja je znatno lošija od prostorne rezolucije SOP sloja (30 m) dok je glavna prednost bolja vremenska rezolucija od 1-2 dana što znatno smanjuje razdoblje između nastanka i detekcije opožarenih područja. Svaki klasificiran piksel ima vrijednost između 0 i 365 što predstavlja dan u godini kada je požarište klasificirano.

FireCCI51 podaci za svaki mjesec u požarnoj sezoni su spojeni u jedan sezonski sloj koji je vektoriziran te su podaci o danu klasifikacije pretvoreni u standardni format datuma kako bi se omogućila usporedba s podacima SOP sloja.

5.2. Provjera točnosti

Uvidom u ukupne opožarene površine za pojedine požarne sezone (tab. 21) može se uočiti kako dolazi do znatnih odstupanja u površini SOP klasifikacije od VOS i FireCCI51 podataka za isto razdoblje. Posebno su istaknute razlike opožarene površine 2012. godine što je ponajprije posljedica činjenice kako je za klasifikaciju te godine korišten samo Landsat 7 koji ima problem sa senzorom opisan u poglavlju 3.2. Slična situacija postoji i 2017. godine, no za tu godinu nije pronađen razlog znatno manje sezonske površine SOP klasifikacije.

Rezultati SOP klasifikacije gotovo uvijek (16 od 18) imaju manju opožarenu površinu od referentnih podataka, no te razlike mogu znatno varirati pa se ne može utvrditi jasan relativan odnos između svakog tipa podataka. Navedene razlike je potrebno uzeti u obzir kada se interpretiraju rezultati prije 2001. godine koji se nisu uspoređivali s referentnim podacima. Potrebno je uzeti u obzir i manju dostupnost Landsat snimaka za pojedine sezone (tab. 7). Valja napomenuti kako se podatak VOS-a o procijenjenoj opožarenoj površini ne temelji na točnim mjerenjima nego o terenskoj procijeni vatrogasaca.

Tab. 21. Pregled sezonskih opožarenih površina prema SOP i FireCCI51 klasifikaciji te procijeni VOS-a

Godina	SOP	VOS	FireCCI51	Godina	SOP	VOS	FireCCI51
1985	15071			2003	21592	19089	25099
1986	2230			2004	4938	5101	5966
1987	1579			2005	1163	1692	720
1988	6723			2006	4633	4863	5359
1989	1534			2007	18667	24628	22272
1990	12199			2008	8569	7526	4593
1991	11109			2009	3760	6638	4224
1992	5437			2010	730	1997	1341
1993	20720			2011	9132	15950	13933
1994	12801			2012	12125	22186	18418
1995	12514			2013	2681	3420	2205
1996	13361			2014	146	464	233,61
1997	5758			2015	6187	9645	7994
1998	19093			2016	2519	6783	3299
1999	4404			2017	36858	59095	51011
2000	66058			2018	823	2820	
2001	16996		21987	Sezonski prosjek	10689	11994	11206
2002	1217		1854				

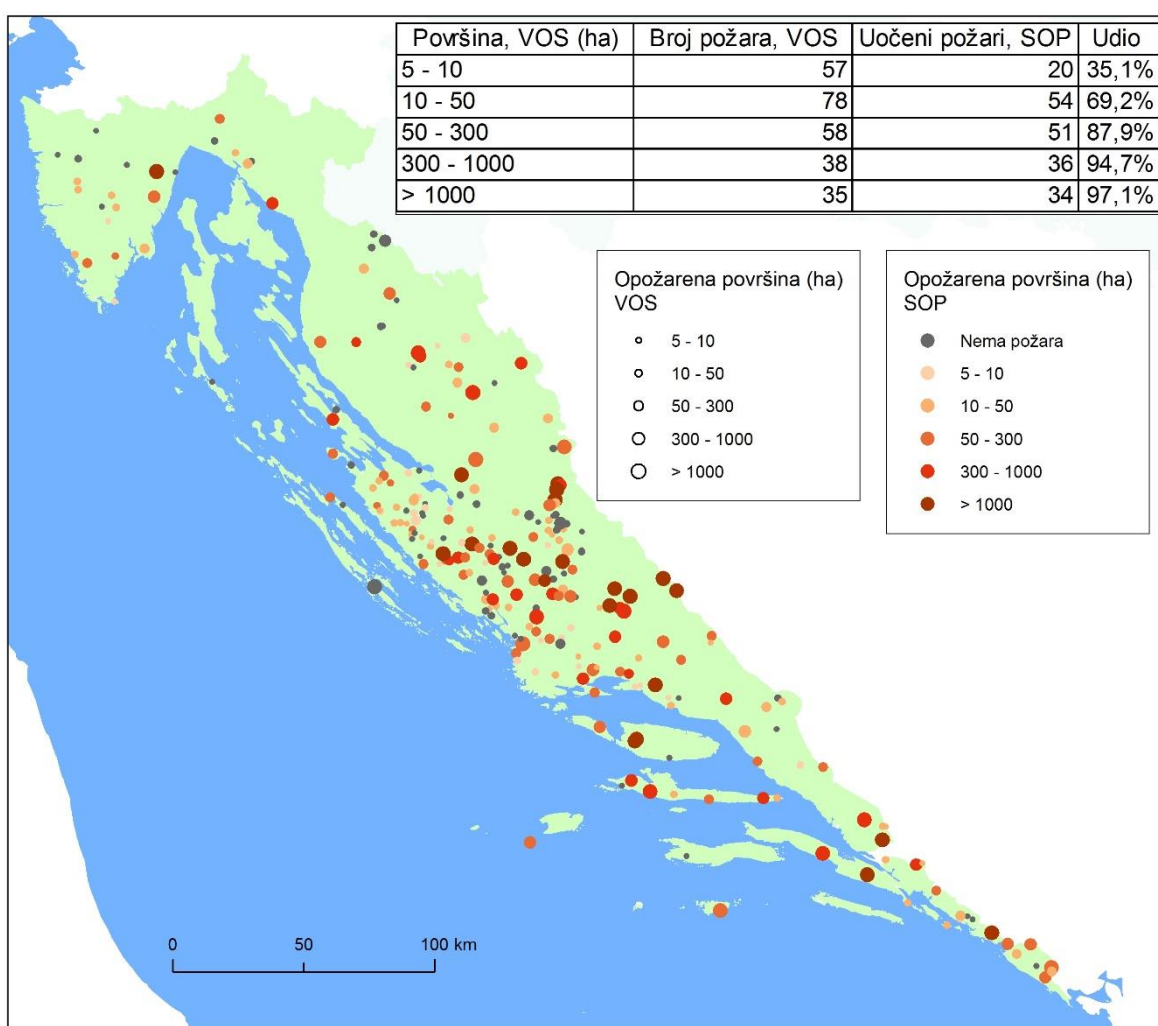
Izvor: Izradio autor na temelju izvora VOS i ESA

Opožarene površine moguće je usporediti i na temelju individualnih požara. Od ukupno 2607 požara odabrano je njih 266 (oko 10 % od ukupnog broja) koji će predstavljati reprezentativne uzorke. Za reprezentativne uzroke uzeti su svi požari veći od 1000 hektara, dok su ostali požari odabrani nasumično uz uvjet da 50% odabranih požara bude veće od 50 hektara kako bi se dobila prihvatljiva raspodjela procijenjenih površina. Svaki uzorak je georeferenciran u prostoru na temelju podataka opisne lokacije (sl. 24) te su mu pridodani odgovarajući atributi procijenjene površine i datuma požara.

Svakom reprezentativnom uzorku su zatim pridodani atributi opožarene površine SOP i FireCCI51 klasifikacije. S obzirom da se navedeni podaci temelje na poligonima, dok su reprezentativni uzorci prikazani kao točke u prostoru, bilo je potrebno označiti poligone za koje je procijenjeno kako pripadaju određenom požaru nakon čega se zbroj površina odgovarajućih poligona zapisao u polje površine odgovarajućeg reprezentativnog uzorka. Pri navedenom procesu postojala je opasnost da se podaci određenog opožarenog područja

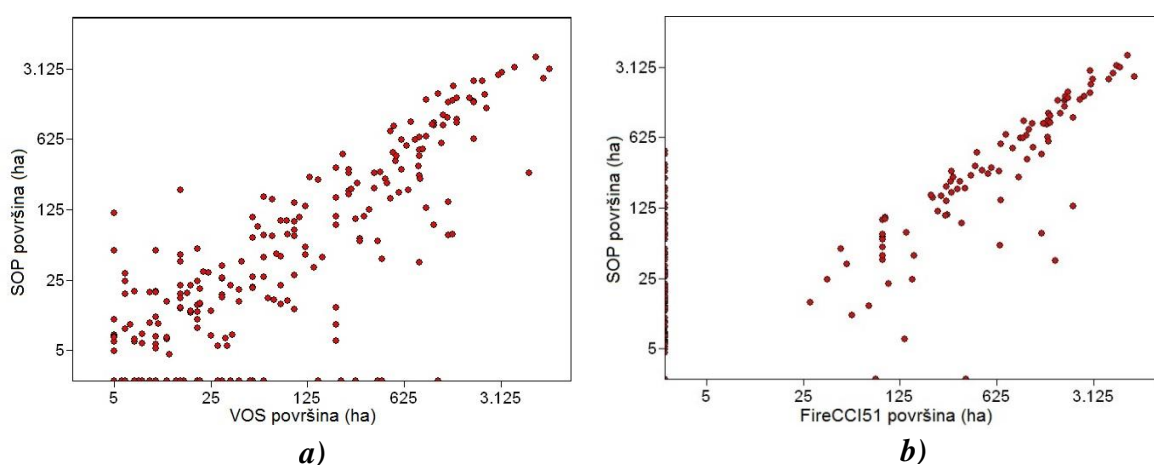
pripoje pogrešnom požaru ako je na manjem prostoru bilo više definiranih požara, no podaci o datumu klasifikacije svakog poligona su pridonijeli kako ne bi došlo do zabune.

Od 266 uzoraka za njih 71 nije bio detektiran požar na opisanoj lokaciji. Ako se požari podijele u razrede procijenjene površine kao na sl. 24 vidljivo je kako se smanjivanjem opožarene površine smanjuje i vjerojatnost da će područje biti klasificirano kao opožareno. Na tab. 21 i sl. 25a je vidljivo kako se procijenjene površine od strane VOS-a mogu znatno razlikovati od površine SOP sloja što može biti uzrokovano lošijom klasifikacijom ili pogrešnom procjenom od strane vatrogasaca.



Sl. 24. Usporedba podataka VOS-a i SOP-a na temelju reprezentativnih uzoraka

Kao što je i očekivano kod FireCCI51 klasifikacije, prostorna rezolucija od 250 m znatno utječe na mogućnost detekcije opožarenih površina reprezentativnog uzorka. Od 266 reprezentativna uzorka FireCCI51 uočava samo njih 91 čija aritmetička sredina izmjerene površine iznosi 1173 ha dok za iste požare kod SOP sloja ona iznosi 710 ha. Pregled ukupne opožarene površine požarnih sezona (tab. 21) prikazuje kako FireCCI51 nema znatno veću prosječnu sezonsku opožarenu površinu od VOS i SOP od podataka, no to je ponajprije posljedica činjenice da on neće klasificirati većinu požara, a one koje će klasificirati će imati znatno veću opožarenu površinu (sl. 25b).



Sl. 25. Usporedba SOP sa VOS i FireCCI51 opožarenim površinama reprezentativnih uzoraka

Sl. 25b pokazuje kako veliki broj reprezentativnih uzoraka ima manju izmjerenu površinu SOP sloja nego kod FireCCI51 klasifikacije. To je ponajprije posljedica male prostorne rezolucije pa se unutar jednog piksela može nalaziti značajan udio područja koje nije bilo zahvaćeno vatrom. To se može vidjeti na sl. 26d gdje je ukupna FireCCI51 površina velikog požara kod Splita veća za približno 40% od površine dobivene na temelju SOP sloja (sl. 26c). Prema procijeni VOS-a, isti požar ima površinu od 3910 ha.

Razvoj navedenog požara se može vidjeti usporedbom sl. 26a i 26b. Sl. 26a prikazuje požar u tijeku 17. srpnja u približno 9:30 sati. Iduća Landsat snimka iz 2. kolovoza prikazuje cijelo opožareno područje (sl. 26b) te se na zapadnom dijelu snimke vidi kako je požar djelomično zahvatio i grad Split. SOP klasifikacija je u mogućnosti pratiti razvoj navedenog požara na temelju samo 2 datuma dok bi FireCCI51 trebao omogućiti znatno bolje praćenje razvoja požara (sl. 26d).

S obzirom da je navedeni požar nastao 17. srpnja oko 00:30 sati te je lokaliziran 19. srpnja u 11 sati (HVZ) može se zaključiti kako je bila poprilično mala vjerojatnost da će Landsat uočiti razvoj navedenog požara ako se u obzir uzme njegova vremenska rezolucija na tom prostoru od 16 dana. Podaci o datumu klasifikacije FireCCI51 podataka (sl. 26d) daju zbunjujuće rezultate ako se u obzir uzme već spomenuti period trajanja požara. Područje koje je prvo zahvaćeno požarom je slično kao i u slučaju SOP klasifikacije, no daljnji razvoj požara bi trebao završiti sa snimkom iz 20. kolovoza, tako da je točan samo datum prve detekcije požara. To je posljedica algoritma na temelju kojeg je nastao FireCCI51, koji za konačnu klasifikaciju ne uzima prvi datum detekcije požara, nego datum sa minimalnom mjesečnom BIC vrijednošću, kako bi se izbjegla snimka na kojoj se pojavljuje dim nakon požara (Chuvieco i dr., 2018). U većini slučajeva MODIS senzor će prije uočiti požar nego Landsat jer je prema podacima reprezentativnih uzoraka za Landsat senzore u prosjeku potrebno 12 dana kako bi detektirali neki požar, dok je MODIS senzoru potrebno 5 dana.

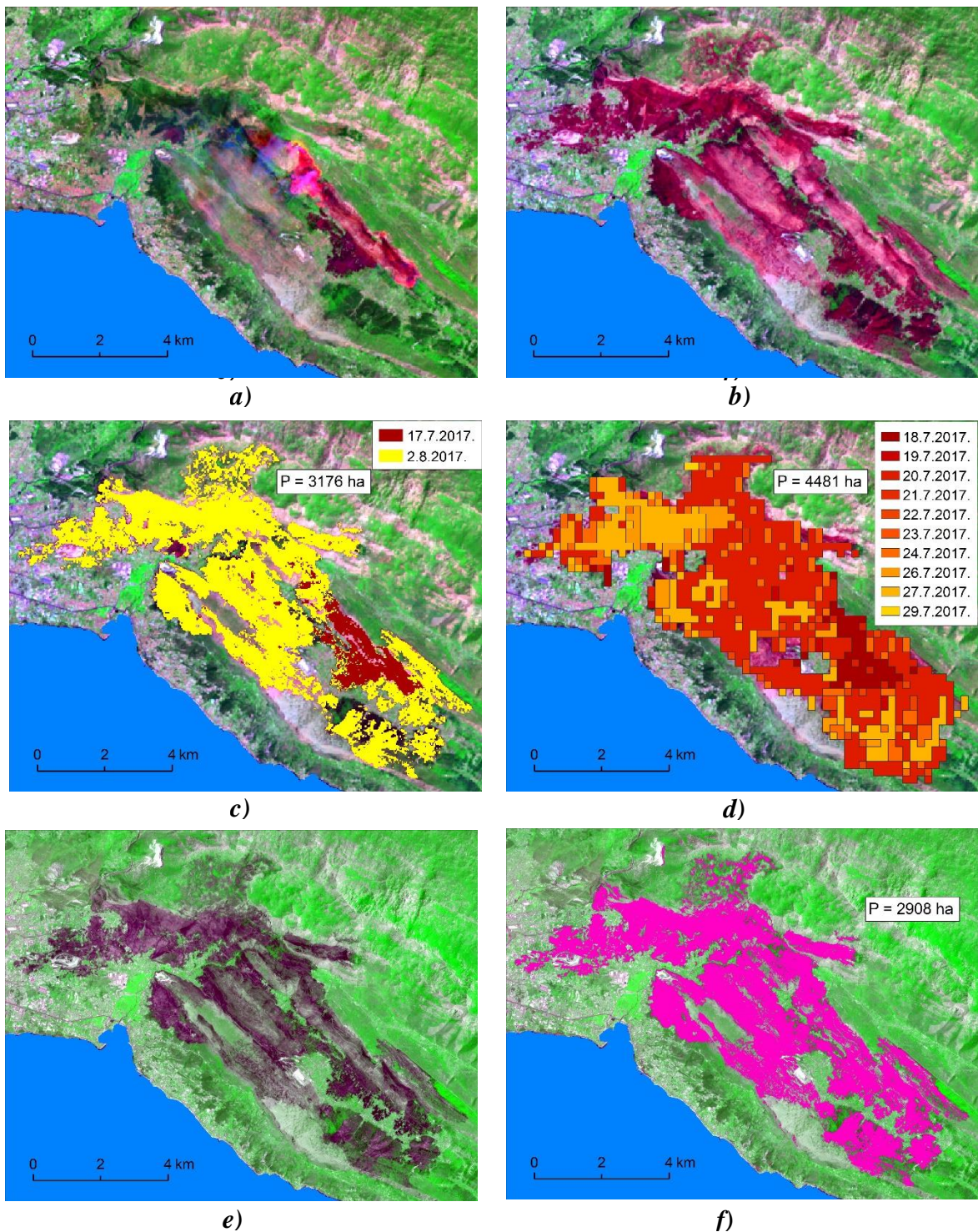
Ako se pretpostavi kako će konačna površina nekog požarišta prema FireCCI51 podacima biti precijenjena zbog male prostorne rezolucije, može se pretpostaviti kako će površina dobivena klasifikacijama na temelju Landsat senzora također biti precijenjena u usporedbi sa senzorima veće prostorne rezolucije. Kako bi potvrdila navedena tvrdnja, preuzeta je snimka PlanetScope satelita (Planet Labs, Inc.) istog područja (sl. 26e). PlanetScope snima Zemljinu površinu u prostornoj rezoluciji od 3 metra te ima 3 kanala u vidljivom i 1 kanal u BIC dijelu EM spektra. Zbog toga nije moguće računati NBR na temelju tih snimaka pa je provedena samo nadzirana klasifikacija navedenog požara.

Na temelju nadzirane klasifikacije dobivena je površina požarišta od približno 2900 hektara što je potvrđuje pretpostavku o precijenjenosti površine zbog prostorne rezolucije Landsat senzora. U ovom slučaju je razlika u površini od 9% ipak znatno manja nego u usporedbi s FireCCI51 podacima iako je površina piksela PlanetScope snimke 100 puta manja od površine Landsat piksela. Potrebno je uzeti u obzir kako sva tri navedena primjera imaju različit proces klasifikacije pa izračunata površina ne ovisi samo o prostornoj rezoluciji senzora.

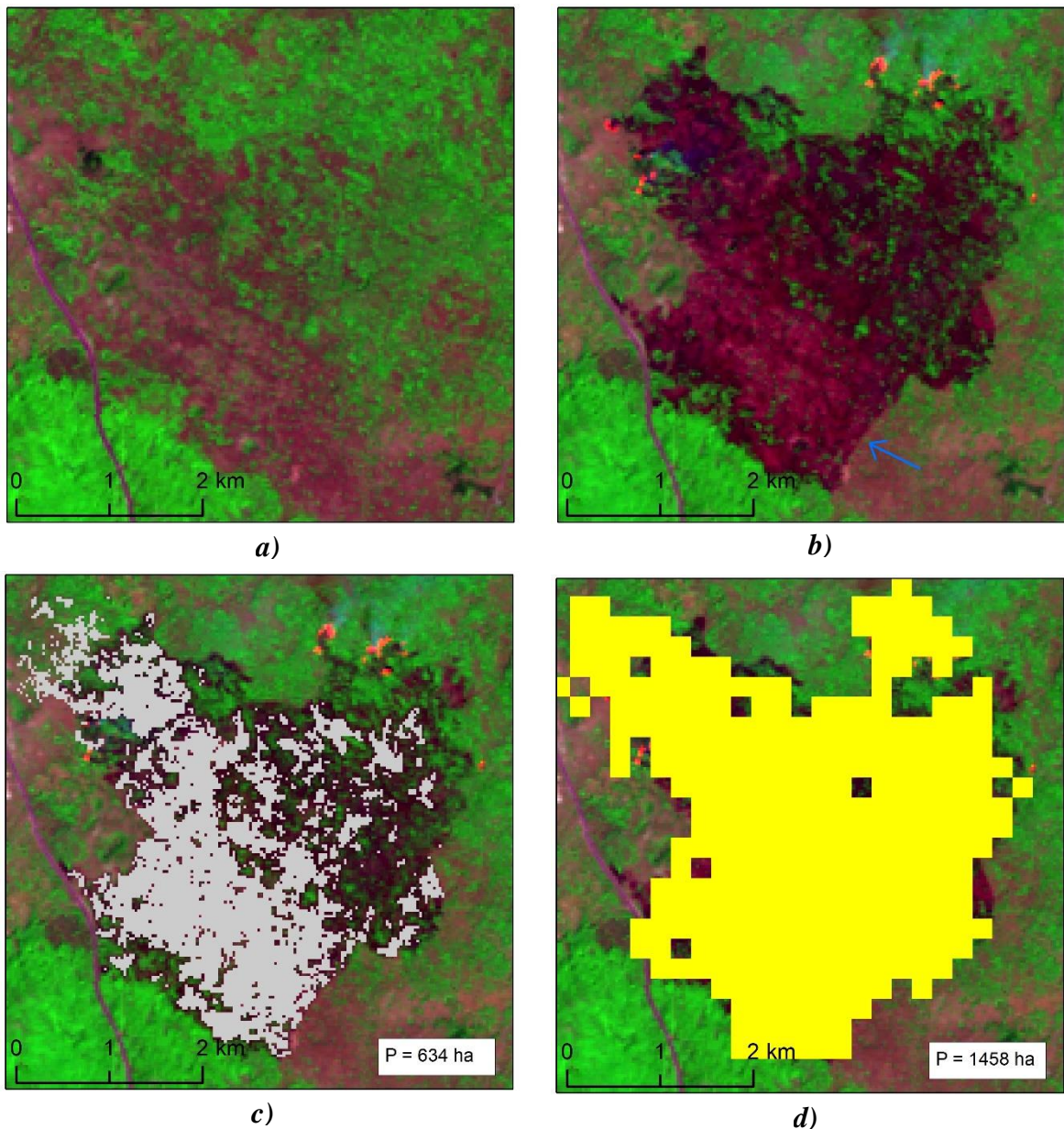
Na sl. 28d je vidljivo kako FireCCI51 može klasificirati područja koja nisu opožarena kao opožarena dok će neka opožarena područja klasificirati kao neopožarena. Dakle, kao i u svakoj klasifikaciji dolazi do određenih pogreška, samo što se u ovom slučaju svaki pogrešno klasificiran piksel odnosi na 6,25 ha (toliko je površina jednog piksela) pogrešno klasificiranog prostora, dok u slučaju SOP i drugih Landsat klasifikacija ta površina puno manja (0,09 ha). FireCCI51 podaci su dakle pogodni za globalne analize, ali ne i za analize opožarenih površina manjih područja poput Jadranske Hrvatske.

Klasifikacija na temelju koje nastaje SOP ima određene nedostatke. Na sl. 27a se jasno vidi šuma u donjem desnom (svijetlozelena boja) kutu. Ljubičasta linija koja ju razdvaja je autocesta, a područje istočno od nje ima manji intenzitet vegetacije te se vjerojatno radi o suhoj travi koja po ljeti ne reflektira znatno u kratkovalno infracrvenom dijelu EM spektra. To područje je na idućoj sceni 7 dana kasnije (sl. 27b) (na tom prostoru je došlo do preklapanja Landsat staza) klasificirano kao opožareno (sl. 27c). Područja koja su svijetlocrvene boje prikazuju prostor s vrlo visokom temperaturom što može biti aktivni požar ili nedavno opožareno tlo. Ta područja, uz druga vidljivo opožarena područja nisu u potpunosti klasificirana na temelju SOP klasifikacije (sl. 27c), no jesu na produktu FireCCI51 klasifikacije (sl. 27d).

Klasificirana područja u gornjem lijevom kutu predstavljaju područja koja su opožarena nakon datuma nastanka snimke u pozadini. Zanimljivo je kako prema VOS podacima ukupna opožarena površina navedenog požara iznosi 2000 hektara, što je znatno više i od očekivano precijenjene FireCCI51 površine. Uz pomoć vizualne interpretacije izmjerena je opožarena površina od 900 hektara. Ravna granica opožarenog područja (označeno plavom strelicom na sl. 27a) je uzrokovana makadamskom cestom koja je spriječila širenje požara prema jugoistoku.



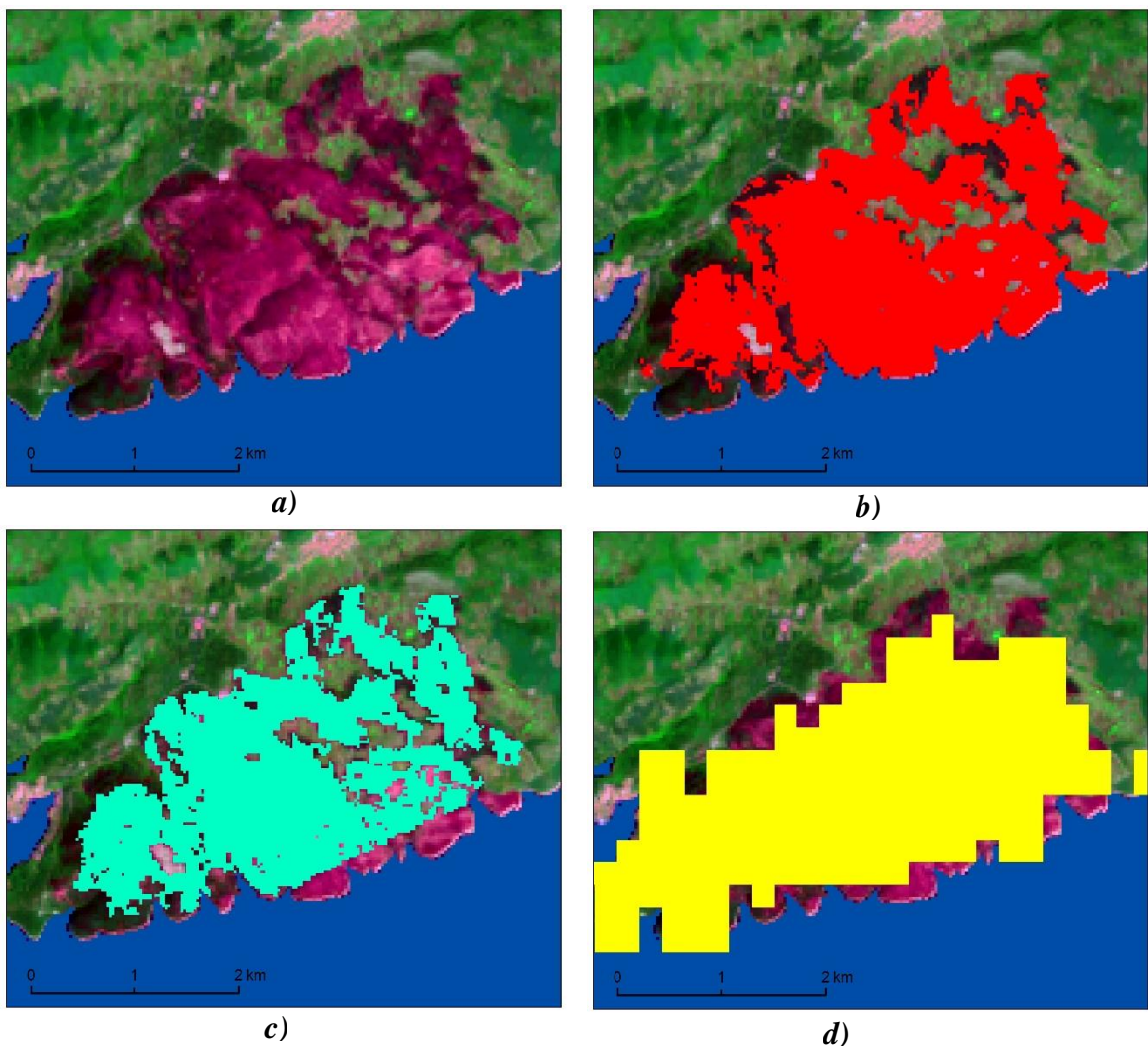
Sl. 26. Opožareno područje istočno od Splita u infracrvenom dijelu EM spektra za vrijeme (a) i nakon požara (b, e) te klasifikacija opožarenog područja prema SOP (c), FireCCI51 (d) i nadziranoj klasifikaciji PlanetScope scene (f) uz datume klasifikacije Landsat 8 OLI, 17.7.2017. (a), 2.8.2017 (b, c, d), RGB kompozicija: 7 5 3 PlanetScope, 19.7.2017. i 22.7.2017. (zapadni dio), RGB kompozicija: 1 4 2 (e), izvor snimke: Planet Labs, Inc.



Sl. 27. Područje u okolini Perušića u infracrvenom dijelu spektra prije (a) i nakon požara (b) uz SOP (c) i FireCCI51 klasifikaciju (d)
Landsat 5 TM, 19.8.2009. (a), 26.8.2009. (b, c, d), RGB kompozicija: 7 4 2

Posljednji referentni podatak koji će se analizirati u ovom radu je GABAM (Global annual burned area map) koji je napravljen za 2015. godinu (Long i dr., 2018). S obzirom da je cilj toga rada bio izraditi klasifikaciju požara koja bi trebala bit točna za sva područja na Zemlji, postupak klasifikacije u tom radu se razlikovao od klasifikacije na temelju koje je dobiven SOP sloj.

Usporedbom GABAM i SOP sloja za 2015. godinu utvrđeno je kako GABAM sloj vrlo slično prikazuje poznata opožarena područja (sl. 28b i 28c), no proizvodi znatne anomalije. Tako je primjerice u Istri klasificirano 21 600 ha opožarenih područja, dok ih je prema SOP sloju klasificirano 510 hektara. Iako GABAM prikazuje opožarena područja iz cijele godine, ne postoje nikakvi podaci koji upućuju na tako velika opožarena područja u Istri tokom cijele 2015. godine. Stoga GABAM sloj, i proces klasifikacije na kojoj se on bazira, nisu pogodni za utvrđivanje ukupne opožarene površine JH. Glavna prednost procesa izrade GABAM sloja je korištenje *Earth Engine* platforme koja značajno olakšava proces obrade podataka.



Sl. 28. Požar u općini Smokvica na Korčuli u infracrvenom dijelu EM spektra (a) uz SOP (b), GABAM (c) i FireCCI51 (d) klasifikaciju
Landsat 8 OLI, 13.8.2015., RGB kompozicija: 7 5 3

6. Zaključak

Kao što je navedeno u ciljevima, izrađena je klasifikacija opožarenih područja Jadranske Hrvatske za razdoblje od 1985. do 2018, no promatranje cjelogodišnjih razdoblja nije bilo moguće zbog česte naoblake u preostalom dijelu godine pa je analizirano samo razdoblje od 1. svibnja od 30. listopada za svaku godinu. Navedeni proces je uključivao preuzimanje i klasifikaciju 1472 Landsat snimke prema metodologiji koja je određena na temelju drugih radova i vlastite procijene.

Ukupno je klasificirano 363 000 hektara u navedenom razdoblju, uz najviše opožarenih površina u srpnju, kolovozu i rujnu. Utvrđena je velika međusezonska varijacija opožarenih površina bez ukazivanja na rast i pad u višegodišnjem razdoblju, a posebno se ističu požarne sezone 2000. i 2017. u kojima je zajedno opožareno preko 100 000 hektara.

Na temelju analiza zonalne statistike mogu se donijeti idući zaključci:

1. Dubrovačko-neretvanska, Šibensko-kninska, Zadarska i Splitsko-dalmatinska su znatno više opožarene od Ličko-senjske, Primorsko-goranske i Istarske županije.
2. Zajednice šikara, grmlja i travnjaka su podložnije požarima nego šume dok je prijelaz šuma u područja bez vegetacije najčešće uzrokovan požarima.
3. Prostori nižih nadmorskih visina su podložniji požarima kao i prostori manjih nagiba i južne ili zapadne orijentacije padina.
4. Prostori s većom prosječnom ljetnom temperaturom i manjom ljetnom količinom padalina su podložniji požarima.

Točnost klasifikacije provedene u ovom radu ovisi ponajprije o metodologiji i o karakteristikama Landsat senzora. Klasifikacija provedena u ovom radu nije pogodna za određivanje broja požara, već za ukupnu opožarenu površinu koja ponajprije ovisi o velikim požarima. Dobiveni rezultati ukupne sezonske opožarene površine imaju manje vrijednosti od terenske procijene vatrogasaca ili FireCCI51 referentnih podatka opožarenih područja.

Razvoj Landsata i drugih satelitskih sustava praćenja Zemlje je od velike važnosti za razumijevanje prostorne i vremenske dinamike požara. Prikupljanjem sve većeg broja podataka dobit će se bolji povijesni pregled, uvođenjem boljih senzora će se povećati točnost, a razvoj *cloud* servisa poput *Google Earth Engine* platforme olakšat će obradu podataka te će se u budućim istraživanjima moći sve bolje interpretirati uzroke i posljedice požara.

Literatura

1. Bastarrika, A., Chuvieco, E., Pilar Martín, M., 2010: Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors, *Remote Sensing of Environment* 115, 1003-1012
2. Campbell, J. B., Wynne, R. H., 2011: *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford press, New York
3. Chuvieco, E., 1999: *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, Springer, New York
4. Chuvieco, E., 2009: *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*, Springer, New York
5. Chuvieco, E., Congalton, R.B., 1988: Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data, *Geocarto International*, 3(4), 41-53
6. Chuvieco, E., Congalton, R.B., 1989: Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping, *Remote Sensing of Environment* 29, 147-159
7. Chuvieco, E., Lizundia-Loiola, J., Lucrecia Pettinari, M., Ramo R., Padilla, M., Tansey, K., Mouillot, F., Laurent, P., Storm, T., Heil, A., Plummer, S., 2018: Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies, <https://www.earth-syst-sci-data.net/10/2015/2018/>, (5. 6. 2019.)
8. Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf G.R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T. J., Giglio, L., 2019: Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation, *Remote Sensing of Environment*. 225. 45-64
9. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. 2017: Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27
10. Hawbaker, T. J., Vanderhoof, M. K., Beal, Y., Tackacs, J. D., Schmidt, G. L., Falgout, J. T., Williams, B., Fairaux, N. M., Caldwell, M. K., Picotte, J. J., Howard, S. M., Stitt, S., Dwyer, J. L., 2017: Mapping burned areas using dense time-series of Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, 198, 504-522

11. Hislop S., Jones, S., Soto-Berelov M., Skidmore, A., Haywood, A., Nguyen T. H., 2018: Using Landsat Spectral Indices in Time-Series to Assess Wildfire Disturbance and Recovery, *Remote Sensing*. 10(3), 460
12. Hudak, A. T., Brockett, B. H., 2004: Mapping fire scars in a southern African savannah using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, vol. 25, no. 16, 3231–3243
13. Justice C. O., Kendall J.D., Dowty P.R., Scholes R. J., 1996: Satellite remote sensing of fires during the SAFARI campaign using NOAA advanced very high resolution radiometer data, *Journal of geophysical research*, 1996, vol. 101, no. D19, 23851-23863
14. Kaufman Y. J., Justice C. O., Flynn L. P., Kendall J.D., Prins E. M., Giglio L., Ward D. E., Menzel W. P., Setzer A. W., 1998: Potential global fire monitoring from EOS-MODIS, *Journal of geophysical research*, 1998, vol. 103, no. D24, 32215-32238
15. Key, C. H., Benson, N. C., 1999: Measuring and remote sensing of burn severity: the CBI and NBR,
https://archive.usgs.gov/archive/sites/www.nrmc.usgs.gov/files/norock/products/SEVER36_im_copy6.pdf (29.6.2019.)
16. Key, C. H., Benson, N. C. 2006: Landscape assessment, Sampling and analysis methods, *FIREMON Fire Effects Monitoring and Inventory System*, USDA Forest Service. RMRS-GTR-164CD: Fort Collins
17. Kontoes, C.C., Poilvé, H., Florsch, G., Keramitsoglou, I., Paralikidis, S., 2009: A comparative analysis of a fixed thresholding vs. a classification tree approach for operational burn scar detection and mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 11. 299-316
18. Kušan, V., 2011: *Pokrov i namjena korištenja zemljišta u Republici Hrvatskoj - stanje i trendovi*, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb.
19. Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M.S., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., Lewis, S.A., Gessler, P. E., Benson, N. C., 2006: Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects , *USDA Forest Service / UNL Faculty Publications*. 194.
20. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W., 2015: *Remote sensing and image interpretation*, Wiley, US

21. Liu, Y., Dai, Q., Liu, J., Liu, S., Yang, J. 2014: Study of Burn Scar Extraction Automatically Based on Level Set Method using Remote Sensing Data, *PLoS ONE* 9(2): e87480. doi:10.1371/journal.pone.0087480
22. Long, T., Zhang, Z., He, G., Jiao, W., Tang, C., Bingfang, W., Zhang, X., Wang, G., Yin, R., 2018: 30m resolution Global Annual Burned Area Mapping based on Landsat images and Google Earth Engine, *Remote Sensing* 11 (2018): 489.
23. Lozano, J. F., Suarez-Seoane, S., de Luis, E., 2006: Assessment of several spectral indices derived from multi-temporal Landsat data for fire occurrence probability modeling. *Remote Sensing of Environment*. 2007, 107. 533-544
24. Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, F., Gao, F., Kutler, J., Lim, T.K., 2012: LEDAPS Landsat Calibration, Reflectance, Atmospheric Correction Preprocessing Code *ORNL DAAC*, Oak Ridge, Tennessee, USA, <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1146>
25. Netolicki, A., 2011: *Geografska analiza rizika od požara u Srednjoj Dalmaciji*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet
26. Pavlek, K., Bišćević, F., Furčić, P., Grđan, A., Gugić, V., Malešić, N., Moharić, P., Vragović, V., Fuerst-Bjeliš, B., Cvitanović, M., 2017: Spatial patterns and drivers of fire occurrence in a Mediterranean environment: a case study of southern Croatia, *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 117, 22-35
27. Richards, J. A., Jia, X., 2006: *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer, Heidelberg
28. Robinson J.M., 1991: Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing, *International Journal of Remote Sensing*, 12:1, 3-24
29. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, J.W., 1973: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *3rd ERTS Symposium, NASA SP-351*, 309–317
30. Roteta, E., Bastarrika, A., Padilla, M., Storm, T., Chuvieco, E., 2019: Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa, *Remote Sensing of Environment*, 222, 1-17
31. Roy, D.P., Giglio, L., Kendall J.D., Justice C.O., 1999: Multi-temporal active-fire based burn scar detection algorithm, , *International Journal of Remote Sensing*, 2000, vol.20 ,no. 5, 1031 - 1038

32. Roy, D. P., Boschetti, L., Trigg, S. N., 2006: Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the Performance of the Normalized Burn Ratio, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 3, no. 1, 2006
33. Salvador, R., Valeriano, J., Pons, X., Diaz-Delgado, R., 2000: A semi-automatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forests with Landsat MSS time series, *International Journal of Remote Sensing*, 21, 655–671
34. Verhegghen, A., Hugh, E., Ceccherini, G., Achard, F., Gond, V., Gourlet-Fleury, S., Cerutti, P.O., 2016: The Potential of Sentinel Satellites for Burnt Area Mapping in the Congo Basin Forests, *Remote Sensing*, 8, 986
35. Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., Franch, B., 2016: Preliminary analysis of the performance of the landsat 8/OLI landsurface reflectance product, *Remote Sensing of Environment* 185, 46-56
36. White J. D., Ryan K. C., Key C. C., Running S. W., 1996: Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery, *International Journal of Wildland Fire*, 6(3), 125-136
37. Zhu, Z., Woodcock, C., 2012: Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 118, 83–94

Izvori podataka

1. Digitalni model reljefa (ASTER), <https://earthexplorer.usgs.gov/> (13.7.2019)
2. Bardi, A.; Papini, P.; Quaglino, E.; Biondi, E.; Topić, J.; Milović, M; Pandža, M.; Kaligarič, M.; Oriolo, G.; Roland, V.; Batina, A.; Kirin, T. 2016: *Karta prirodnih i poluprirodnih ne-šumskih kopnenih i slatkovodnih staništa Republike Hrvatske*. AGRISTUDIO s.r.l., TEMI S.r.l., TIMESIS S.r.l., HAOP., NIPP WFS: <http://services.bioportal.hr/wfs?service=WFS&request=GetCapabilities> (14.6.2019.)
3. CORINE Zemljišni pokrov (Copernicus) , <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (22. 5. 2019)
4. EarthExplorer arhiva Landsat snimka, United States Geological Survey (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/> (20.2.2019.)
5. FIRECCI51 klasifikacija (ESA) (Chuvieco, 2018), ftp://anon-ftp.ceda.ac.uk/neodc/esacci/fire/data/burned_area/MODIS/pixel/v5.1/compressed/ (31.5.2019.)
6. Global annual burned area map klasifikacija požara (GABAM) (Long i dr., 2018), <ftp://124.16.184.141/GABAM/2015/> (21.7.2019)
7. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP), Nacionalna klasifikacije staništa http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/2017-12/Nacionalna%20klasifikacija%20stanista_IVverzija.pdf (22.6.2019)
8. Hrvatska vatrogasna zajednica (HVZ), <https://hvz.hr/vijesti/intervencije/pozari-diljem-obale> (31.7.2019.)
9. Izrada klimatskih karata (DHMZb) https://meteo.hr/klima.php?section=klima_hrvatska¶m=k1_9 (2.8.2019.)
10. Karta stupanja izgrađenosti zemljišnog pokrova (Copernicus) <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/2012> (19.6.2019)
11. Karta voda i područja s mogućnošću pojave vode (Copernicus): <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/water-wetness/expert-products/wetness-probability-index/2015> (19.6.2019)
12. *Program aktivnosti u provedbi posebnih mjera zaštite od požara od interesa za Republiku Hrvatsku u 2019. godini*, Narodne novine (NN 35/19) https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_04_35_735.html (30.7.2019)

13. NASA, Specifikacije MSS senzora (NASAa) <https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-multispectral-scanner-system/> (16.5.2019)
14. NASA, Specifikacije TM senzora (NASAb) <https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-thematic-mapper/> (16.5.2019)
15. NASA, Specifikacije ETM+ senzora (NASAc) <https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-enhanced-thematic-mapper-plus/> (16.5.2019)
16. NASA, Specifikacije OLI senzora (NASAd) <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/> (16.5.2019)
17. Planet Labs, Inc. <https://www.planet.com/explorer/>
18. Srednje mjesečne vrijednosti temperatura i padalina (DHMZa) https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci¶m=k1&Grad=dubrovnik (2.8.2019.)
19. Vatrogasno operativno središte (VOS) Džavne upravu za zaštitu i spašavanje
20. Zvonimir Barišin / CROPIX, <https://www.jutarnji.hr/Fotogalerije/opozareno-podrucje-u-splitu-snimljeno-iz-zraka/6384797/> (28.6.2019.)

Popis slika

Sl. 1. Karta prostora JH prema CORINE 2018 klasama 2. razine.....	5
Sl. 2. Karta prostora JH prema NKS osnovnim klasama.....	8
Sl. 3. Opožareno područje Korčule, u vidljivom (a) i infracrvenom (b) dijelu EM spektra	10
Sl. 4. Opožarena područja u blizini Splita nedugo nakon požara, 19. 7. 2017.....	10
Sl. 5. Refleksija elektromagnetskog zračenja zdrave vegetacije i različitih tipova opožarenih područja prema valnim duljinama vidljivog i infracrvenog dijela spektra.....	12
Sl. 6. Promjena opožarenog područja kod Gornjeg Jelenja (a, c, e) i Paga (b, d, f).....	13
Sl. 7. Scena ETM+ senzora nakon kvara <i>scan line corrector</i> instrumenta	16
Sl. 8. WRS 2 staze i redovi koji obuhvaćaju prostor JH sa primjerima datuma snimanja iz 2017. godine	17
Sl. 9. Opožareno područje Pelješca u vidljivom (a) i infracrvenom (b) dijelu EM spektra te NBR (c) i Δ NBR (d) vrijednosti navedenog područja.....	20
Sl. 10. Požari u Šibensko-kninskoj županiji u vidljivom (a, c) i infracrvenom (b) dijelu EM spektra te GV (d), USNK (e) i SOP (f) klasifikacija požara	24
Sl. 11. Požar u okolici Muća (a), SOP klasifikacija (b), grupe klasificiranih piksela > 4 ha (crveno), \leq 4 ha unutar 300 m od crvenog (žuto), \leq 4 ha izvan 300 m od crvenog (tirkizna)	26
Sl. 12. Površine koje neće ući u proces klasifikacije.....	27
Sl. 13. SOP sloj za 2000. godinu na prostoru cijele JH, narančasti okvir predstavlja područje na sl. 14.....	28
Sl. 14. SOP sloj 2000. (crveno) na dijelu Dalmacije koji je bio najviše opožaren uz opis lokacije, površine (P) i datuma klasifikacije za veća požarišta, u pozadini Landsat snimka	29
Sl. 15. Pojednostavljeni model obrade podataka korišten u ovom radu.....	33
Sl. 16. Pregled opožarenih površina za sve požarne sezone istražene u ovom radu	34
Sl. 17. Pregled područja na kojima su u razdoblju 1985. – 2018. klasificirani požari te njihovog ponavljanja na istom prostoru uz označena područja čestog ponavljanja požara 35	
Sl. 18. Prosječna dnevna opožarena površina u razdoblju 1985-2018 prema USOP podacima.....	36
Sl. 19. Kretanje srednjih sedmogodišnjih površina prema županijama.....	38
Sl. 20. Pregled općina prema opožarenom udjelu u njihovoj površini te podaci o 15 općina sa najvećim vrijednostima	39
Sl. 21. Nadmorske visine JH i relativan udio površine svakog razreda nadmorske visine 45	
Sl. 22. Prosječni godišnji broj požara \geq 5 ha prema podacima za razdoblje 2003. – 2018.	49
Sl. 23. Prosječna mjesečna opožarena površina i površina po požaru za razdoblje 2003. – 2018.	50
Sl. 24. Usporedba podataka VOS-a i SOP-a na temelju reprezentativnih uzoraka	53
Sl. 25. Usporedba SOP sa VOS i FireCCI51 opožarenim površinama reprezentativnih uzoraka.....	54

Sl. 26. Opožareno područje istočno od Splita u infracrvenom dijelu EM spektra za vrijeme (a) i nakon požara (b, e) te klasifikacija opožarenog područja prema SOP (c), FireCCI51 (d) i nadziranoj klasifikaciji PlanetScope scene (f) uz datume klasifikacije	57
Sl. 27. Područje u okolici Perušića u infracrvenom dijelu spektra prije (a) i nakon požara (b) uz SOP (c) i FireCCI51 klasifikaciju (d)	58
Sl. 28. Požar u općini Smokvica na Korčuli u infracrvenom dijelu EM spektra (a) uz SOP (b), GABAM (c) i FireCCI51 (d) klasifikaciju.....	59

Popis tablica

Tab. 1. CORINE klasifikacija	6
Tab. 3. NKS klasifikacija	7
Tab. 3. Karakteristike MSS senzora	14
Tab. 4. Karakteristike TM senzora	14
Tab. 5. Karakteristike ETM+ senzora	15
Tab. 6. Karakteristike OLI i TIRS senzora.....	15
Tab. 7. Broj preuzetih scena koje su se koristile u klasifikaciji prema godini i WRS2 oznaci.....	31
Tab. 8. Mjesečni pregled opožarenih površina na temelju USOP podataka	36
Tab. 9. Pregled opožarenih površina prema županijama.....	37
Tab. 10. Pregled 15 općina sa najvećom prosječnom sezonskom opožarenom površinom	39
Tab. 11. Opožarena površina osnovnih NKS klasa	40
Tab. 12. Opožarena površina CORINE klasa 2. razine u razdoblju 1991. – 2018.....	41
Tab. 13. Opožarena površina prema klasama promjene između CORINE 1990 i CORINE 2018 sloja.....	42
Tab. 14. Opožarena površina razreda nadmorskih visina.....	44
Tab. 15. Opožarene površine prema razredima nagiba padina.....	45
Tab. 16. Opožarena površina padina različite orijentacije	46
Tab. 17. Opožarena površina prema vertikalnoj raščlanjenosti reljefa	46
Tab. 18. Opožarena površina prema srednjoj temperaturi srpnja, kolovoza i rujna.....	48
Tab. 19. Opožarena površina prema ukupnoj količini padalina srpnja, kolovoza i rujna ...	48
Tab. 20. Usporedba broja požara prema razredima procijenjene opožarene površine za razdoblje 2003. – 2018.	50
Tab. 21. Pregled sezonskih opožarenih površina prema SOP i FireCCI51 klasifikaciji te procijeni VOS-a.....	52

Prilozi

Prilog 1. Opožarena površina prema klasama promjene između CORINE 1990 i CORINE 2000 sloja

Promjena CORINE pokrova (1990 i 2000)	Jedinstvena opožarena površina (1991 - 2000) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase	Promjena CORINE pokrova (1990 i 2000)	Jedinstvena opožarena površina (1991 - 2000) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
11	53488	10,1%	46	3	1,5%
12	1120	49,9%	47	11	1,5%
13	534	8,9%	51	694	19,5%
14	598	3,5%	52	289	9,6%
15	2809	61,7%	53	69	14,9%
16	76	11,6%	54	10	3,8%
17	20	3,2%	55	7465	10,6%
21	27646	16,4%	56	3	83,5%
22	9515	7,8%	57	2	0,9%
23	667	12,5%	61	18	3,4%
24	0	0,1%	62	43	80,8%
25	77	28,6%	63	5	2,9%
26	1	1,5%	64	0	0,0%
27	11	1,5%	65	0	0,0%
31	593	13,2%	66	1294	2,9%
32	342	9,0%	67	0	0,3%
33	24527	6,3%	71	0	0,0%
34	54	7,2%	72	46	6,5%
35	3	20,9%	73	34	6,3%
36	80	4,1%	74	7	3,2%
37	27	1,4%	75	0	0,0%
41	1197	12,2%	76	34	7,2%
42	79	40,6%	77	1180	1,3%
43	699	32,6%	Ukupno prom.	38107	15,7%
44	7437	0,8%	Ukupno bez prom.	104905	4,7%
45	206	61,6%	UKUPNO	143012	5,8%

Prilog 2. Opožarena površina prema klasama promjene između CORINE 2000 i CORINE 2006 sloja

Promjena CORINE pokrova (2000 i 2006)	Jedinstvena opožarena površina (2001 - 2006) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
11	20336	3,1%
12	508	8,1%
13	1115	4,3%
14	39	0,2%
15	1434	22,0%
16	82	5,4%
17	71	1,6%
21	263	2,8%
22	5603	5,2%
23	344	3,4%
24	1	0,5%
25	219	6,6%
26	0	0,0%
27	46	2,5%
31	648	4,2%
32	48	15,6%
33	8985	2,4%
34	7	0,2%
35	98	34,2%
36	273	8,3%
37	126	1,4%
41	2095	7,8%
42	156	71,4%
43	542	6,4%
44	2010	0,2%
45	264	59,6%

Promjena CORINE pokrova (2000 i 2006)	Jedinstvena opožarena površina (2001 - 2006) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
46	123	13,0%
47	7	0,2%
51	1276	4,4%
52	9	0,6%
53	25	3,4%
54	2	0,9%
55	729	1,6%
56	0	1,3%
57	2	0,8%
61	97	6,9%
62	0	0,0%
63	195	3,3%
64	0	0,0%
65	66	73,2%
66	837	2,1%
67	2	0,2%
71	6	2,0%
72	0	0,1%
73	15	1,6%
74	0	0,1%
75	0	0,0%
76	0	0,0%
77	442	0,5%
Ukupno prom.	10203	5,0%
Ukupno bez prom.	38941	1,7%
UKUPNO	49144	2,0%

Prilog 3. Opožarena površina prema klasama promjene između CORINE 2006 i CORINE 2012 sloja

Promjena CORINE pokrova (2006 i 2012)	Jedinstvena opožarena površina (2007 - 2012) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
11	24636	3,5%
12	315	7,6%
13	280	7,9%
14	107	2,4%
15	3010	45,1%
16	68	5,1%
17	16	0,9%
21	2	0,1%
22	4024	3,6%
23	43	8,1%
24	0	0,0%
25	0	0,0%
26	9	2,3%
27	5	0,4%
31	373	3,9%
32	99	2,0%
33	7670	2,0%
34	0	0,0%
35	11	6,7%
36	36	0,5%
37	18	0,2%
41	1421	17,6%
42	45	25,2%
43	3	0,7%
44	4189	0,4%
45	313	64,3%

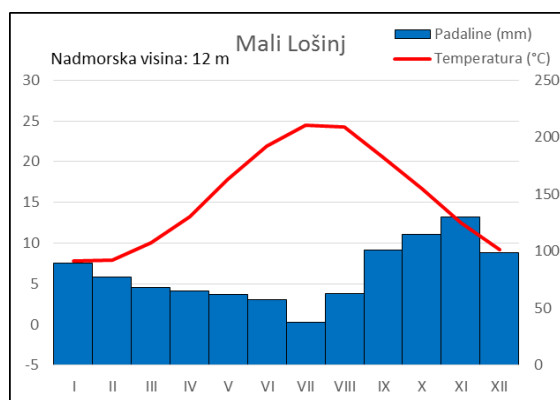
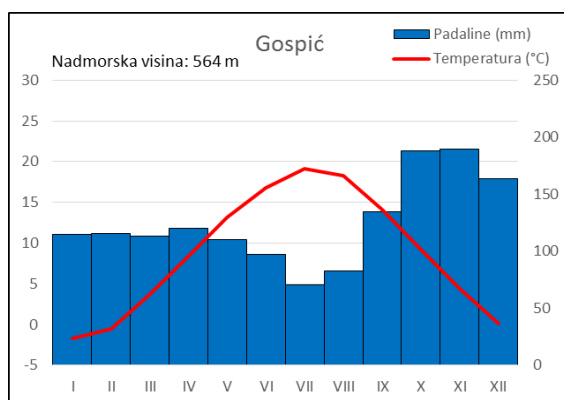
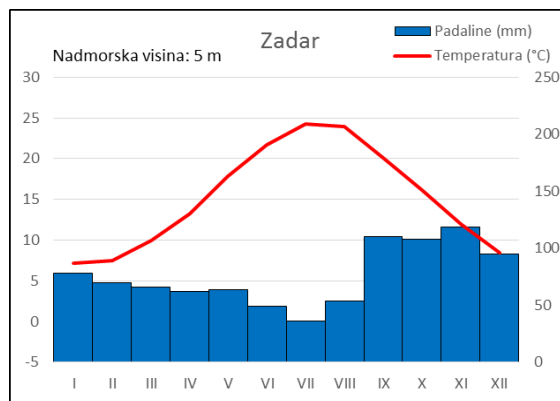
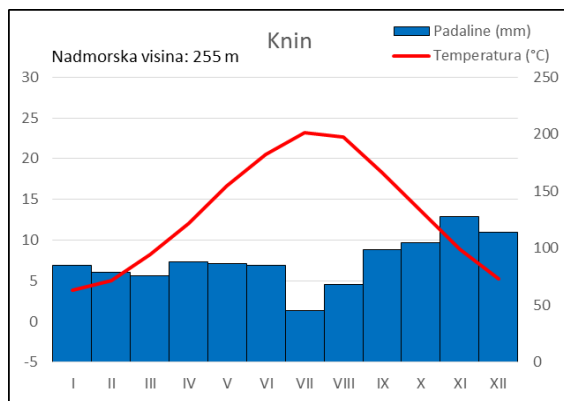
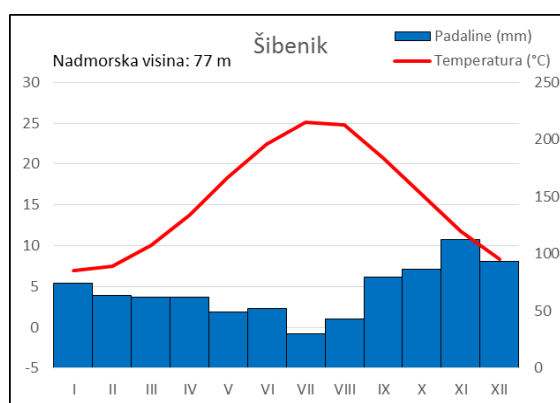
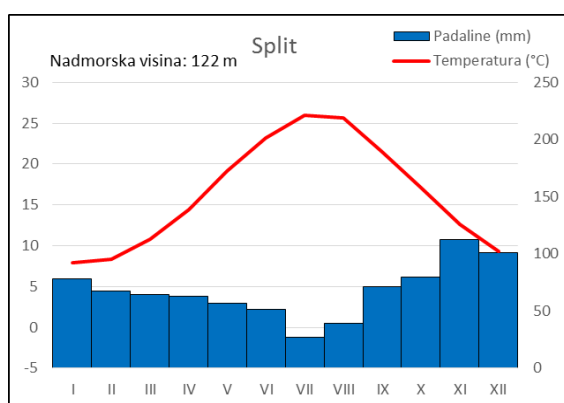
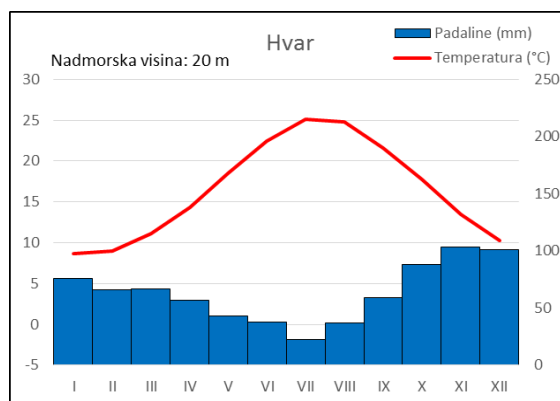
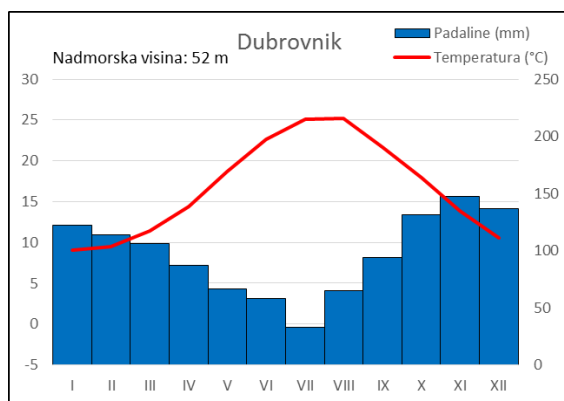
Promjena CORINE pokrova (2006 i 2012)	Jedinstvena opožarena površina (2007 - 2012) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
46	0	0,0%
47	3	0,2%
51	484	22,2%
52	30	8,9%
53	3	96,5%
54	0	0,0%
55	2313	4,4%
56	0	0,0%
57	0	0,0%
61	0	0,0%
62	5	0,0%
63	34	0,9%
64	0	0,1%
65	0	0,0%
66	366	0,9%
67	2	0,3%
71	1	0,5%
72	1	0,1%
73	1	0,1%
74	0	0,0%
75	0	0,0%
76	8	0,5%
77	302	0,3%
Ukupno prom.	6745	8,5%
Ukupno bez prom.	43500	1,8%
UKUPNO	50245	2,0%

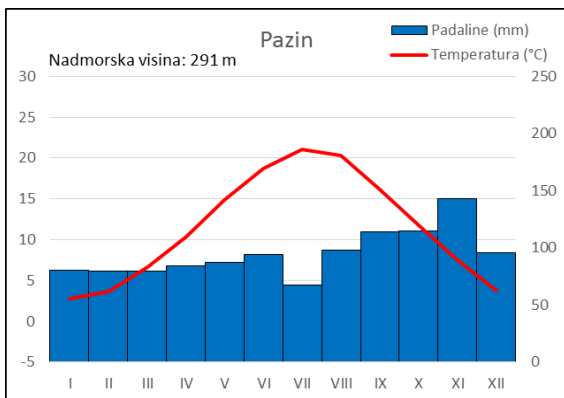
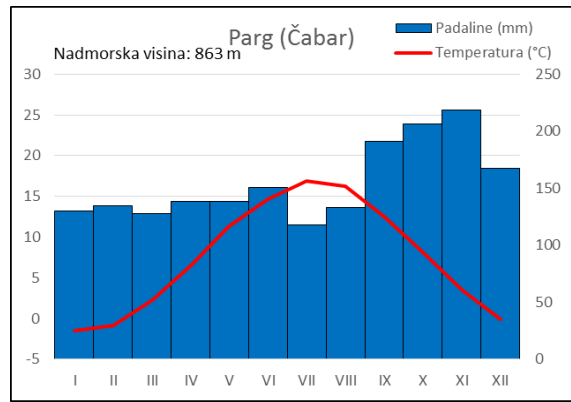
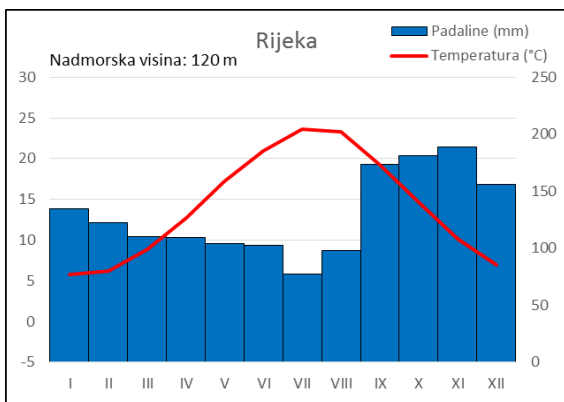
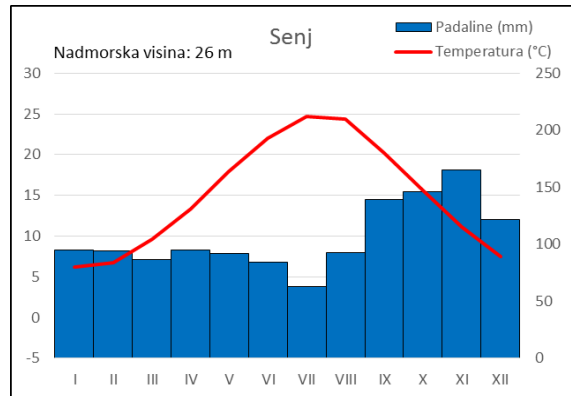
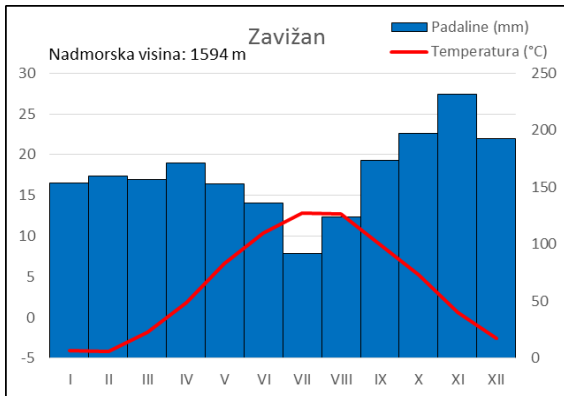
Prilog 4. Opožarena površina prema klasama promjene između CORINE 2012 i CORINE 2018 sloja

Promjena CORINE pokrova (2012 i 2018)	Jedinstvena opožarena površina (2013 - 2018) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
11	22387	3,1%
12	0	0,7%
13	1	0,4%
14	23	2,2%
15	7055	76,8%
16	13	3,0%
17	1	0,1%
21	1	0,3%
22	2553	2,1%
23	0	0,0%
24	0	0,0%
25	0	0,0%
26	12	7,0%
27	0	0,0%
31	0	0,0%
32	0	0,0%
33	5447	1,4%
34	0	0,0%
35	0	0,0%
36	0	0,0%
37	1	1,2%
41	1561	26,3%
42	0	0,0%
43	11	7,2%
44	1568	0,2%
45	3678	69,8%

Promjena CORINE pokrova (2012 i 2018)	Jedinstvena opožarena površina (2013 - 2018) (ha)	Jedinstveni opožareni udio klase
46	25	14,2%
47	0	0,0%
51	46	2,0%
52	0	0,0%
53	0	0,0%
54	0	0,0%
55	2631	4,6%
56	24	13,7%
57	0	0,0%
61	0	0,0%
62	0	0,0%
63	0	0,0%
64	0	0,0%
65	0	0,0%
66	293	0,6%
67	0	0,0%
71	0	0,0%
72	0	0,0%
73	4	15,5%
74	0	0,0%
75	0	0,0%
76	3	2,8%
77	819	0,7%
Ukupno prom.	12461	45,8%
Ukupno bez prom.	35699	1,5%
UKUPNO	48159	2,0%

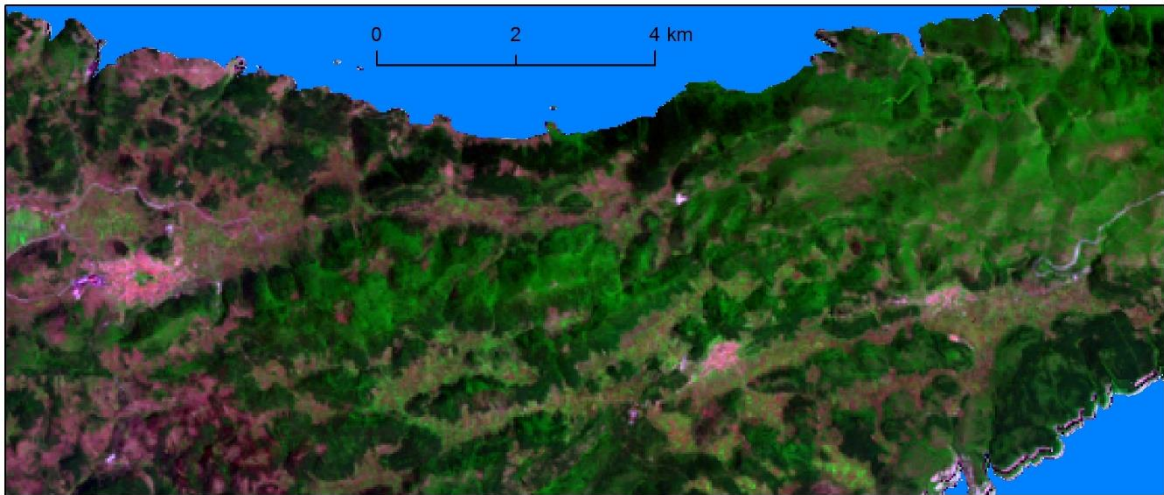
Prilog 5. Klimatski dijagrami meteoroloških stanica koje će se uzeti za aproksimaciju temperature i padalina JH



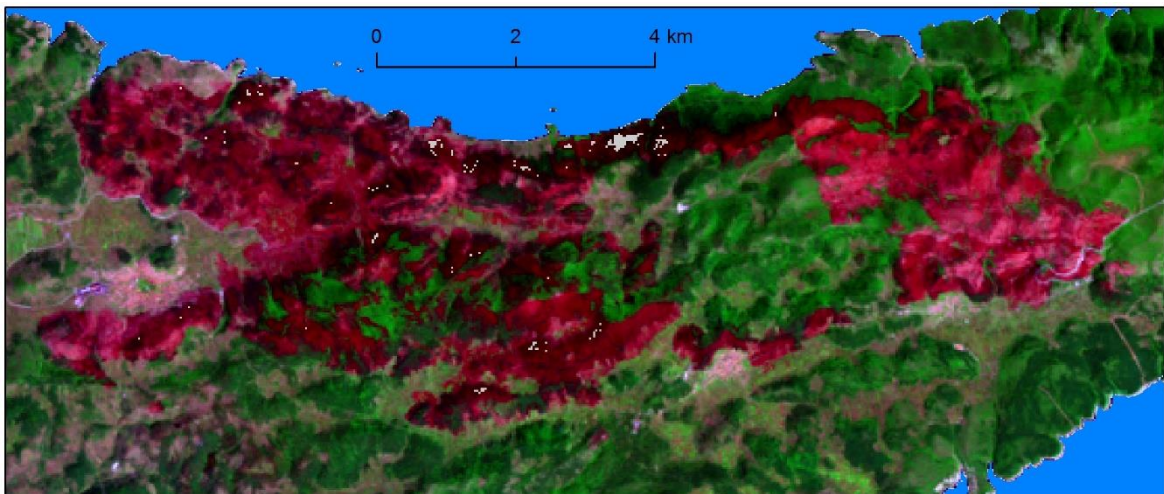


Izvor: Izradio autor na temelju podataka DHMZ

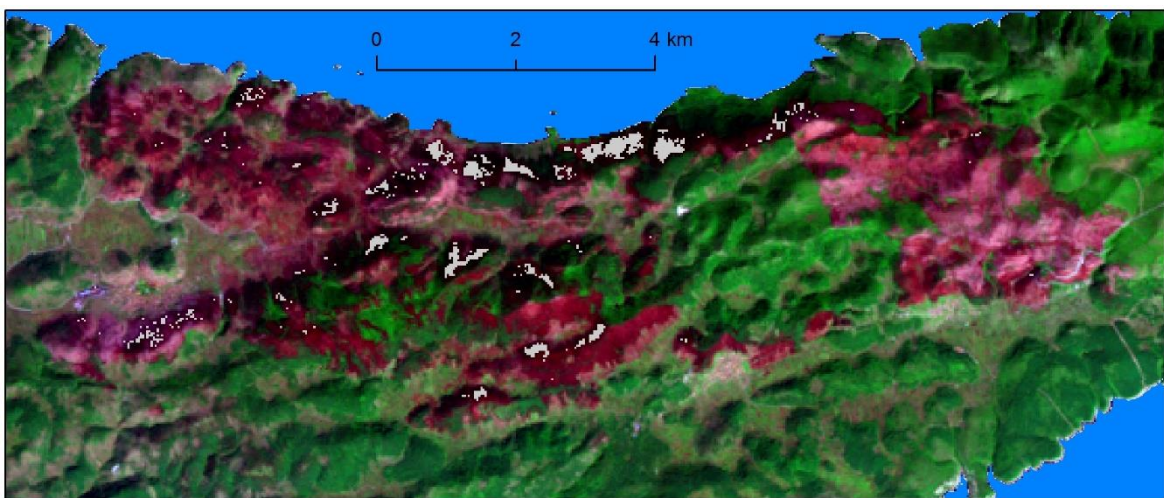
Prilog 6. Područje središnje Korčule prije (a) i nakon (b, c) velikog požara 1.8.1985. Landsat 5 TM, 9.7.1985. (a), 10.8.1985. (b), 27.9.1985. (c), RGB kompozicija: 7 4 2, područja oblaka i ostalih atmosferskih smetnji prikazana su bijelom bojom



a)

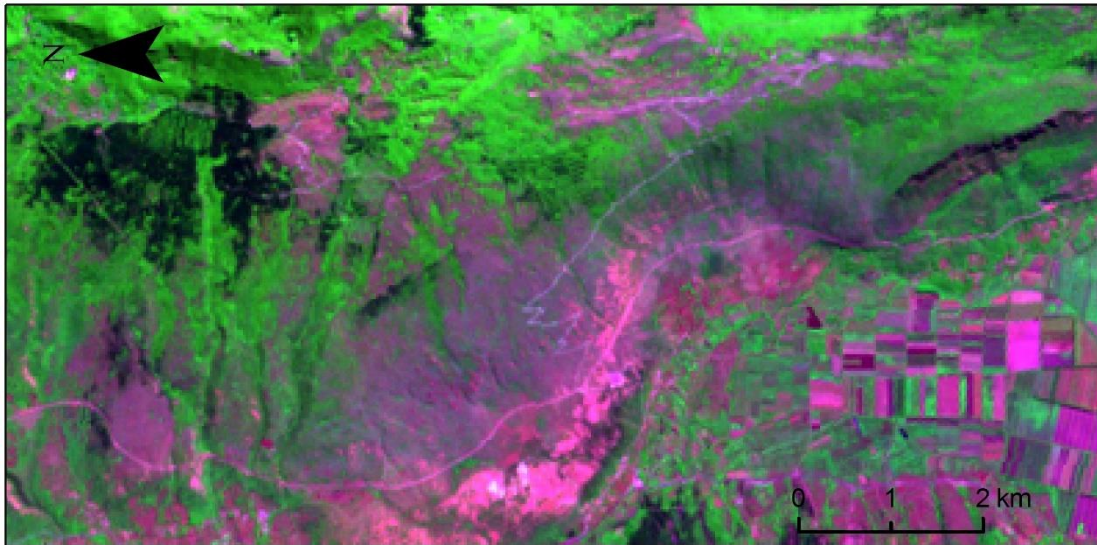


b)

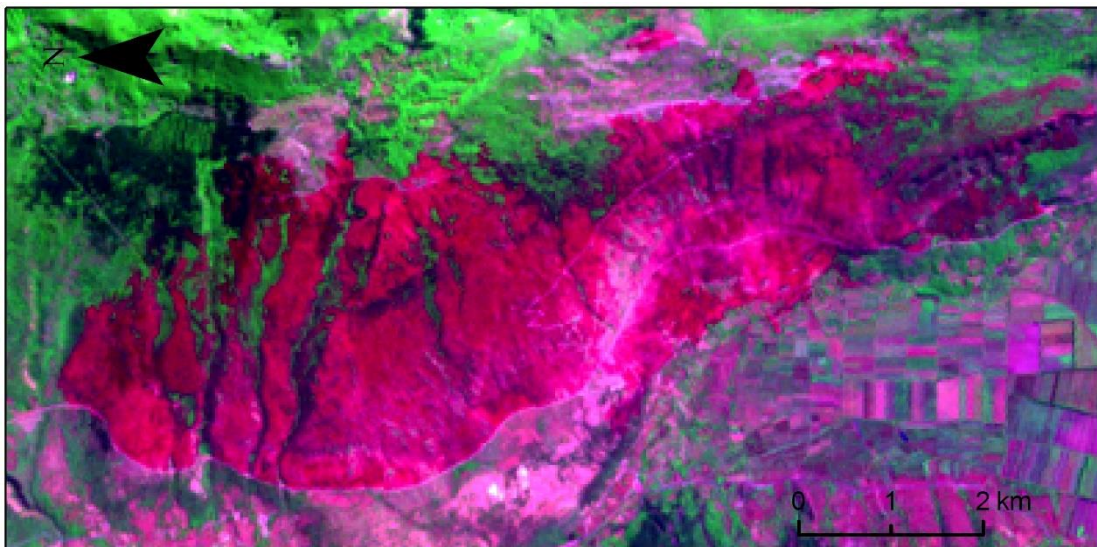


c)

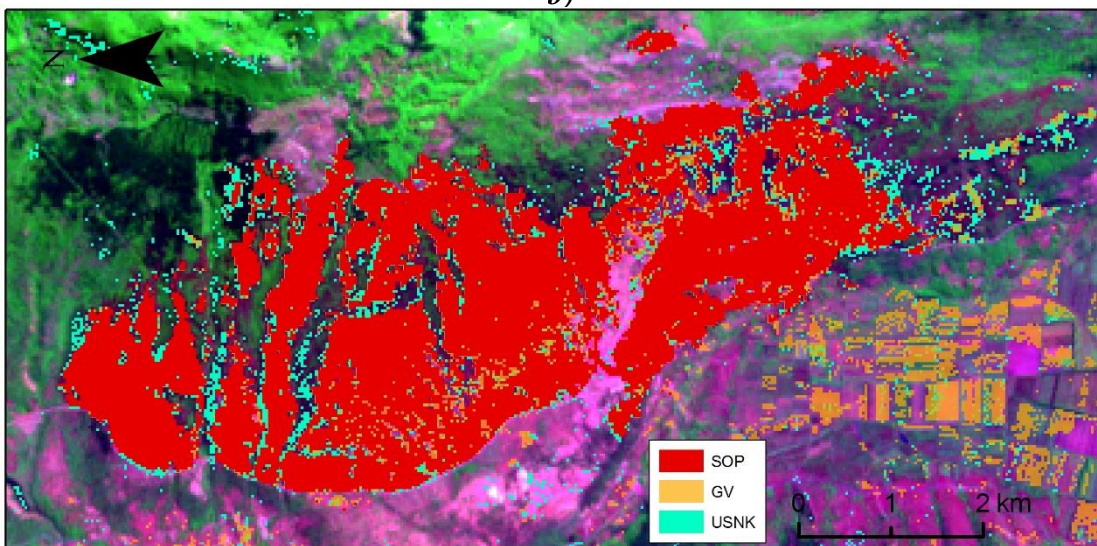
Prilog 7. Područje zapadne padine Učke prije (a) i nakon (b) požara 11.8.2003. te klasifikacija navedenog požara (c)
Landsat 5 TM, 30.6.2003. (a) i 17.8.2003 (b i c), RGB kompozicija: 7 4 2



a)



b)



c)