

UTJECAJ METEOROLOŠKIH ČIMBENIKA NA ZAPALJIVOST NEKIH SREDOZEMNIH VRSTA

INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON FLAMMABILITY OF SOME MEDITERRANEAN SPECIES

Roman ROSAVEC¹, Zoran ŠIKIĆ², Željko ŠPANJOL¹, Damir BARČIĆ¹

Sažetak:

Sredozemni ekosustavi su pod utjecajem djelovanja čovjeka i današnje stanje uglavnom je posljedica intenzivnih antropogenih aktivnosti i prirodnih promjena. Meteorološki parametri imaju velik utjecaj na požare. Kako su požari prirodna pojava, oni manjih razmjera s neznatnom štetom možemo tumačiti kao dinamičnost prirodnih procesa. No broj šumskih požara, a time i veličina spaljene površine, drastično su se povećali u posljednjih nekoliko desetljeća. Vegetacija Sredozemlja je po mnogočemu specifična, pa tako i po uzročno-posljedičnoj vezi sa šumskim požarima. Naime, svaki vegetacijski tip ima svoj požarni režim, odnosno obilježja poput požarnog intervala, prosječnog godišnjeg spaljenog područja i žestine (intenziteta požara). Sredozemne šume uglavnom su siromašne po pitanju broja zastupljenih vrsta. Monodominantne su, te kao takve su lakše zapaljive i podložne širenju požara od mješovitih šuma s velikim brojem vrsta. U radu se opisuju varijacije zapaljivosti (ID) najznačajnijih drvenastih vrsta sredozemnog područja i prikazane su procijene utjecaja meteoroloških čimbenika na prethodno spomenute varijable. Istraživanja su provedena na Nastavno pokusno šumskom objektu Rab Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te u eksperimentalnom laboratoriju za zaštitu šuma od požara u Makarskoj Državnom hidrometeorološkog zavoda RH. Testiranja su obavljena u razdoblju od lipnja 2007. do lipnja 2009., jednom mjesečno po lokaciji. Rezultatima su potvrđene razlike u odgodi zapaljivosti između testiranih vrsta po lokacijama, kao i testiranih vrsta na lokaciji. Srednja odgoda zapaljivosti svih vrsta na oba lokaliteta iznosi 10,60 sekundi. Dobiveni rezultati koji se temelje na laboratorijskom testiranju pokazuju da se oni mogu izravno upotrijebiti u opisu ili predikciji od šumskih požara kada je riječ o zapaljivosti prirodnih goriva u realnim stanišnim uvjetima.

KLJUČNE RIJEČI: zapaljivost, šumski požari, meteorološki čimbenici, Sredozemlje

1. Uvod Introduction

Sredozemni ekosustavi su pod utjecajem djelovanja čovjeka i današnje stanje uglavnom je posljedica intenzivnih antropogenih aktivnosti i prirodnih promjena. Među najvažnijim prirodnim destabilizatorima koji uzrokuju promjene su šumski požari (Trabaud, 1980; Casal, 1987; Calvo, 1993; Naveh, 1999). Danas je trend pojave manjih požara. Snaga

djelovanja i štetnost požara najviše ovise o intenzitetu i frekvenciji požara (Ferran i dr., 1992). Meteorološki parametri imaju velik utjecaj na požare. Viegas i dr. (1999), Skinner i dr. (1999), Kunkel (2001) i Pereira i dr. (2005) ističu da vremenski uvjeti i klima imaju ključnu ulogu u determinaciji požarnog režima nekog područja, a požarni režim zauzvrat je vrlo blizak promjenama klime. Sredozemno područje karakterizirano je dugim sušnim razdobljima tijekom ljeta i toplim zimskim razdobljem (Bonora i dr., 2006). To stresno

¹ Dr. sc. Roman Rosavec, Prof. dr. sc. Željko Španjol, Izv. prof. dr. sc. Damir Barčić; Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb; rosavec@sumfak.hr; spanjol@sumfak.hr; damir.barcic@zg.htnet.hr

² Dr. sc. Zoran Šikić, Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, Kneza Višeslava 9, 23 000 Zadar; zoran.sikic@gmail.com

djeluje na vegetaciju i dovodi do povećane vjerojatnosti izbijanja požara (Mooney, 1983; Sabate i dr., 2002).

Sadržaj vlage goriva je prepoznat kao jedan od najkritičnijih čimbenika koji utječu na nastanak i širenje požara (Van Wagner, 1977; Chandler i dr., 1983; Viegas i dr., 1998; Agree i dr., 2002; Pollet, 2003; Chuvieco i dr., 2004). Povećanje ili smanjenje sadržaja vlage u gorivu rezultat je vremenskih uvjeta (Simard, 1968), a ovisi o fiziološkim i kemijskim karakteristikama goriva (Rothermel 1972; Aguado i dr., 2007). Međutim, Sun i dr. (2006) ističu da mediteranska vegetacija ima strukturne, morfološke i fenološke osobine prikladne za nastajanje i širenje požara u uvjetima kada količina dostupnog goriva i meteorološke prilike nisu kritični. Veliku povezanost između zapaljivosti mediteranskih vrsta i sadržaja vlage goriva utvrdili su Cappelli i dr. (1983), Xanthopoulos i Wakimoto (1992), Hernando Lara i dr. (1994), Massari i Leopaldi (1998) i Alessio i dr. (2008).

Zapaljivost biljaka složena je pojava. Valette (1990) koristi termin "inflammability" kao "spособnost goriva da se zapali nakon što je izloženo toplinskoj energiji". Taj termin se podudara sa terminom "ignitability" u američkoj literaturi (Anderson, 1970). Međutim, zapaljivost predstavlja dvije pojave, a to su "flammability" – sposobnost goriva da se zapali te "combustibility" – sposobnost goriva da podržava vatru. To u svojim istraživanjima potvrđuju Mak (1988), Hogenbirk i Sarrazin-Delay (1995) i Dimitrakopoulos (2001).

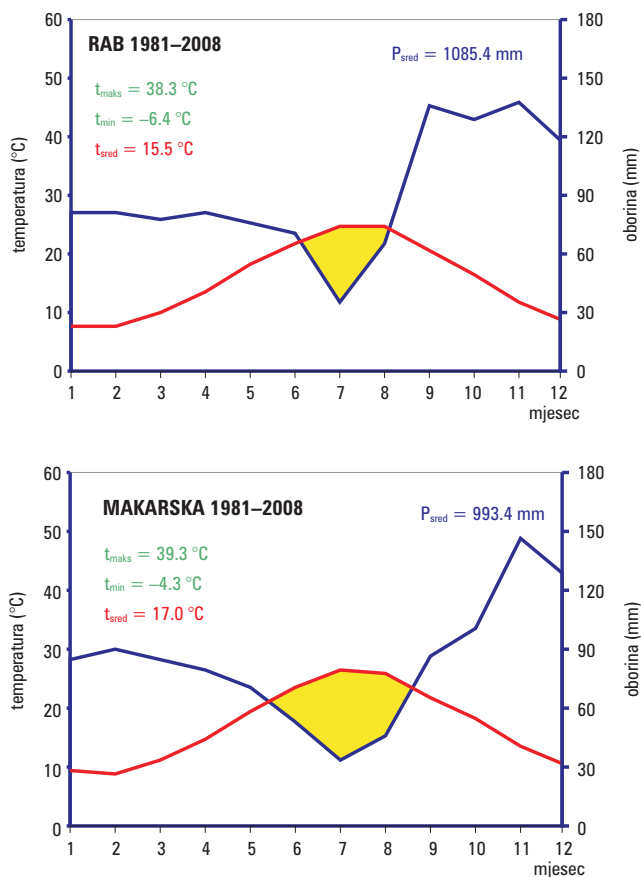
Ciljevi ovog istraživanja su (i) opisati varijacije zapaljivosti (ID) i gorivosti (DC) najznačajnijih drvenastih vrsta mediteranskog područja, i (ii) procijeniti utjecaj meteoroloških čimbenika na prethodno spomenute varijable.

2. Materijal i metode

Material and methods

Istraživanja su provedena na Nastavno pokusno šumskom objektu Rab Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te u eksperimentalnom laboratoriju za zaštitu šuma od požara u Makarskoj Državnog hidrometeorološkog zavoda RH. To područje pripada mediteranskoj klimi. Temeljne klimatske značajke prikazane su na klimatskim dijagramima (slika 1.).

Matičnu podlogu čine uglavnom vapnenci mezozojske starosti (Roglić, 1975). Tla su plitka, s vidljivim kamenim blokovima na površini što ovisi o stupnju degradacije. Uglavnom prevladavaju smeđe tlo na vapnencu, rendzina i vapnenačko dolomitna crnica. Vegetacijski pokrov čine šume hrasta crnike (*Fraxino orni* – *Quercetum ilicis* H-ić 1956/1958) te sastojine i kulture alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) i primorskog bora (*Pinus pinaster* Aiton). Vegetacija je uglavnom u degradacijskim stadijima makija i garig uslijed učestalog djelovanja šumskih požara.



Slika 1. Walterovi klimatski dijagrami za Rab i Makarsku za razdoblje 1981–2008.

Figure 1. Walter's climatic diagrams for Rab and Makarska for the period 1981–2008.

Testiranja DI, DC obavljena su u razdoblju od lipnja 2007. do lipnja 2009. Obuhvaćeno je deset vrsta koje dominiraju na istraživanom području. To su: hrast crnika (*Quercus ilex* L.), lemprika (*Viburnum tinus* L.), obična planika (*Arbutus unedo* L.), obična mirta (*Myrtus communis* L.), tršlja (*Pistacia lentiscus* L.), širokolisna zelenika (*Phillyrea latifolia* L.), šmrika (*Juniperus oxycedrus* L.), veliki vriješ (*Erica arborea* L.), primorski bor (*Pinus pinaster* Aiton) i alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.). Mjerenja su obavljena jednom mjesečno po lokaciji, obično sredinom mjeseca. Ukoliko je u predviđenom terminu padala kiša, mjerenja su obavljena najmanje 48 sati nakon zadnjeg kišnog dana.

Za svaku vrstu u terminu testiranja prikupljeni su uzorci živog goriva (lišće-iglice) slučajnim odabirom na površini 100 x 100 m, u blizini meteorološke postaje. Uzorci su stavljani u posude sa hermetičkim zatvaračem i čuvani u rashladnoj torbi. Vrijeme između sakupljanja i testiranja uzoraka nije bilo dulje od 30 minuta.

Testiranje ID i DC vršeno je pomoću epiradijatora nominalne konstantne snage 500 W. Na visini 0,04 m iznad centra diska bio je postavljen voditelj plamena (plamenik), prema metodologiji koju je opisao Valette (1990). Testiranje svake vrste obavljano je u dvije serije, od kojih je svaka imala

25 uzoraka težine između 0,95 g i 1,05 g. Konačna vrijednost ID i DC utvrđena je kao srednja vrijednost svih 50 uzoraka. Također, napravljena su četiri uzorka težine 4,95 g do 5,05 g. Oni su stavljani u sušionik 48 sati na 105°C radi utvrđivanja sadržaja vlage (LFMC) svake testirane vrste. LFMC je izražen postotno korištenjem jednadžbe:

$$LFMC = ((FW - DW) / DW) \cdot 100$$

gdje je:

LFMC – sadržaj vlage testiranog uzorka

FW – masa svježeg uzorka

DW – masa suhog uzorka

Tijekom cijelog razdoblja istraživanja meteorološki podaci su sakupljeni na meteorološkim postajama, koje se nalaze na području istraživanja.

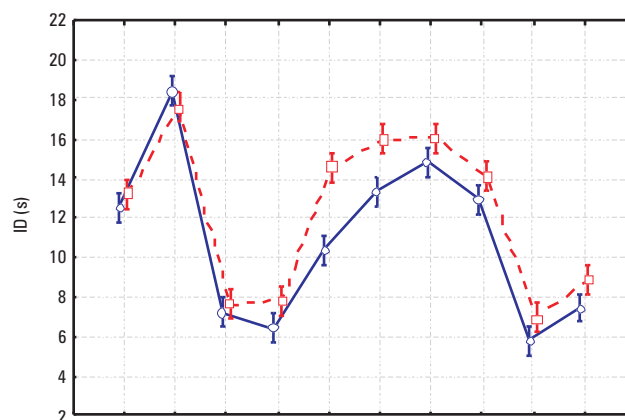
Deskriptivna statistika napravljena je za sve analizirane varijable. Za uspoređivanje DI i DC po lokacijama, vrstama, godinama istraživanja, te mjesecima i njihovim interakcijama korištena je višefaktorska analiza varijance, prema Sokal i Rohlf (1995). Za vrste Tukeyevim post hoc testom testirano je koje vrste čine tu razliku.

Da bi utvrdili povezanost LFMC, srednje mjesečne relativne vlage zraka, srednje mjesečne temperature zraka, srednje mjesečne maksimalne temperature zraka, srednje mjesečne minimalne temperature zraka i srednje mjesečne količine oborine (nezavisne varijable) sa DI, odnosno DC (zavisne varijable) koristili smo multivarijatnu linearnu regresiju. U prvom modelu su sve varijable bile uvrštene, a u drugom modelu se koristila stepwise procedura koja je odredila koje od navedenih varijabli najbolje objašnjavaju zavisnu vari-

jablu. Sve statističke analize i grafički prikazi napravljeni su korištenjem statističkih paketa SAS i STATISTICA 7.1 (Clayton, 1998; SAS Institute Inc., 1999; StatSoft, Inc., 2007)

Rezultati Results

Slika 2. prikazuje da iste vrste imaju drukčiju zapaljivost na različitim lokalitetima. Najveća razlika zabilježena je kod lemprike (*Viburnum tinus* L.) i iznosi više od 4 s, te obične planike (*Arbutus unedo* L.) i iznosi više od 2 s. Najmanja razlika u zapaljivosti zabilježena je kod alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) i primorskog bora (*Pinus pinaster* Aiton) i iznosi manje od 1 s.



Slika 2. Srednja vrijednost zapaljivosti svih vrsta na istraživanim lokalitetima

Figure 2. The mean value of the flammability of all species on the study sites

Tablica 1. Rezultati analize varijance zapaljivosti (DI)

Table 1. Results of analysis of variance for flammability (DI)

	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Koef. Var.	RMSE	Mean DI
model	301	9220.987225	30.634509	24.08	<.0001	0.973413	9.721584	1.127817	11.60116
	DF	Tip III SS	MS	F	Pr > F				
lokalitet – site	1	214.035099	214.035099	168.27	<.0001				
vrsta – species	9	6528.880830	725.431203	570.32	<.0001				
godina – year	2	6.587294	3.293647	2.59	0.0776				
mjesec – month	11	564.169301	51.288118	40.32	<.0001				
lokalitet*vrsta – site*species	9	176.007165	19.556352	15.37	<.0001				
lokalitet*mjesec – site*month	11	44.376783	4.034253	3.17	0.0006				
vrsta*mjesec – species*month	99	307.835158	3.109446	2.44	<.0001				
vrsta*godina – species*year	18	77.284067	4.293559	3.38	<.0001				
godina*mjesec – year*month	11	55.792630	5.072057	3.99	<.0001				
lokalitet*vrsta*mjesec – site*species*month	99	221.741653	2.239815	1.76	0.0004				
lokalitet*vrsta*godina – site*species*year	18	47.903371	2.661298	2.09	0.0074				
lokalitet*godina*mjesec – site*year*month	11	17.953029	1.632094	1.28	0.2363				

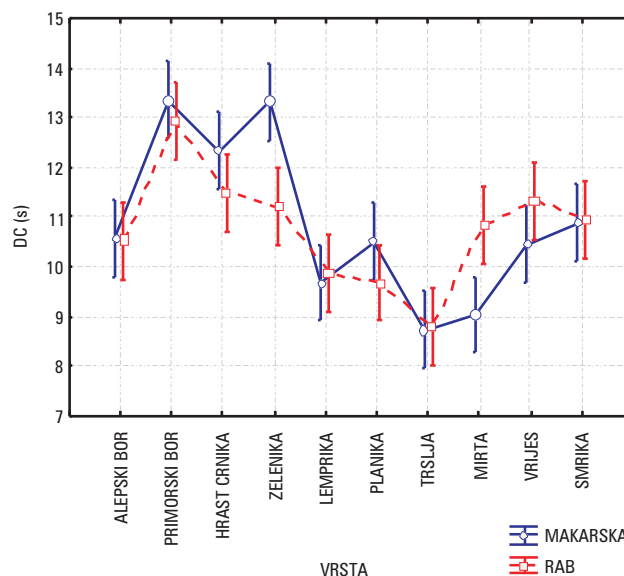
Tablica 2. Rezultati Tukeyevog post hoc (HSD) testa zapaljivosti (DI) za vrste
Table 2. Results of Tukeyevog post hoc (HSD) test of flammability (DI) for species

Tukey Grouping	Mean	N	Species
A	17.9812	50	Primorski bor (<i>Pinus pinaster</i> Aiton)
B	15.4294	50	Tršlja (<i>Pistacia lentiscus</i> L.)
C	14.6604	50	Obična planika (<i>Arbutus unedo</i> L.)
D	13.5162	50	Obična mirta (<i>Myrtus communis</i> L.)
E D	12.8812	50	Alepski bor (<i>Pinus halepensis</i> Mill.)
E	12.4688	50	Lemprika (<i>Viburnum tinus</i> L.)
F	8.1424	50	Šmrika (<i>Juniperus oxycedrus</i> L.)
G F	7.4344	50	Hrast crnika (<i>Quercus ilex</i> L.)
G	7.1292	50	Širokolisna zelenika (<i>Phillyrea latifolia</i> L.)
H	6.3684	50	Veliki vrijes (<i>Erica arborea</i> L.)

Opaska: isto slovo znači da ne postoji statistički značajna razlika između testiranih vrsta

Note: The same letter means that there is no statistically significant difference between the species tested

Prema rezultatima multivarijatne regresijske analize za DI za sve vrste i oba lokaliteta koji su prikazani u tablici 3. LFMC, srednja mjesečna temperatura zraka i srednja mje-



Slika 3. Srednja vrijednost gorivosti svih vrsta na istraživanim lokalitetima

Figure 3. The mean value of the combustibility of all species on the study sites

sečna maksimalna temperatura zraka su čimbenici o kojima statistički značajno ovisi DI. Ovaj model objašnjava 72 % DI svih vrsta na oba lokaliteta.

Tablica 3. Rezultati regresijske analize zapaljivosti (DI) kao zavisne varijable za sve vrste i oba lokaliteta

Table 3. Regression results for flammability as the dependent variable for all species and both sites

	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc.R ²	Koef. Var.	RMSE
model	6	6854.06746	1142.34458	215.05	<.0001	0.7235	0.7202	19.86661	2.30476
Varijable	DF	Proc. Param.	Stand. Pogr.	t	Pr > t				
Intercept	1	2.32402	1.83583	1.27	0.2061				
LFMC	1	0.10285	0.00300	34.30	<.0001				
Sred. mj. rel. vlaga zraka – Mean monthly air humidity	1	0.01386	0.02213	0.63	0.5316				
Sred. mj. temp. zraka – Mean monthly air temp.	1	1.35726	0.41942	3.24	0.0013				
Sred. maks. mj. temp. zraka – Mean max. monthly temp.	1	-0.95952	0.26848	-3.5	0.0004				
Sred. min. mj. temp. zraka – Mean min. monthly temp.	1	-0.42588	0.30193	-1.41	0.1590				
Sred. mj. kol. oborine – Mean monthly precipitation	1	-0.00342	0.00223	-1.53	0.1259				

Tablica 4. Rezultati stepwise procedure regresijske analize zapaljivosti (DI) kao zavisne varijable za sve vrste i oba lokaliteta

Table 4. Results of stepwise regression analysis procedures for flammability (DI) as the dependent variable for all species and both sites

Varijabla	Proc. Param.	Stand. Pogr.	Tip II SS	F	Pr > F	Parc. R ²
Intercept	3.97688	0.87894	108.74652	20.47	<.0001	
LFMC	0.10246	0.00298	6294.74681	1194.56	<.0001	0.7058
Sred. mj. temp. – Mean monthly air temp.	0.93858	0.28280	58.50925	9.54	0.0021	0.0101
Sred. maks. mj. temp. – Mean max. monthly temp.	-0.93241	0.26037	68.12250	17.66	<.0001	0.0054
Sred. mj. kol. oborine – Mean monthly precipitation	-0.00308	0.00211	11.37766	2.14	0.1440	0.0012

Tablica 5. Rezultati analize varijance za trajanje gorenja (DC)**Table 5.** Results of analysis of variance for combustibility (DC)

	SS	DF	MS	F	Pr > F	R ²	Koef. Var.	RMSE	Mean DC
model	2738.979580	301	9.099600	4.60	<.0001	0.874914	13.17456	1.406318	10.67450
		DF	Tip III SS	MS	F	Pr > F			
lokalitet – site		1	2.8541199	2.8541199	1.44	0.2311			
vrsta – species		9	908.3475839	100.9275093	51.03	<.0001			
godina – year		2	71.9861423	35.9930711	18.20	<.0001			
mjesec – month		11	50.9481907	4.6316537	2.34	0.0099			
lokalitet*vrsta – site*species		9	338.6820906	37.6313434	19.03	<.0001			
lokalitet*mjesec – site*month		11	80.0942651	7.2812968	3.68	<.0001			
vrsta*mjesec – species*month		99	296.7695986	2.9976727	1.52	0.0071			
vrsta*godina – species*year		18	215.4619673	11.9701093	6.05	<.0001			
godina*mjesec – year*month		11	27.6873561	2.5170324	1.27	0.2425			
lokalitet*vrsta*mjesec – site*species*month		99	334.5514496	3.3793076	1.71	0.0008			
lokalitet*vrsta*godina – site*species*year		18	89.7456111	4.9858673	2.52	0.0010			
lokalitet*godina*mjesec – site*year*month		11	63.6965617	5.7905965	2.93	0.0013			

Iz tablice 4. vidljivo je da statistički značajno DI svih vrsta na oba lokaliteta ovisi najviše o LFMC koji objašnjava 71 % DI. Osim LFMC, statistički značajnu ovisnost pokazuje i srednja mjesečna temperatura zraka ($R^2=0,01$) i srednja mjesečna maksimalna temperatura zraka ($R^2=0,005$).

Slika 3. prikazuje da iste vrste imaju različito trajanje gorenja na različitim lokalitetima. Najveća razlika evidentirana je kod širokolisne zelenike (*Phillyrea latifolia* L.) u iznosu većem od 2 s, te kod obične mirte (*Myrtus communis* L.) u iznosu malo manjem od 2 s. Najveću sličnost, s najmanjom razlikom, u trajanju gorenja pokazuju alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.), lemprika (*Viburnum tinus* L.), tršlja (*Pistacia lentiscus* L.) i šmrika (*Juniperus oxycedrus* L.).

Iz tablice 7. vidljivo je da gorivost nema statistički značajnu povezanost ni sa jednom korištenom varijablom, pa prema tome nije bilo potrebe raditi stepwise proceduru.

Rasprava

Discussion

Analizom varijance zapaljivosti utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika kod svih promatranih varijabli, osim kod varijabli godina i lokalitet*godina*mjesec. Također je utvrđena srednja odgoda zapaljivosti (DI) svih istraživanih vrsta po svim mjesecima i godinama za oba lokaliteta u iznosu od 11,60 sekundi. Tukeyev post hoc (HSD) test zapaljivosti pokazuje da nema statistički značajne razlike u zapaljivosti između obične mirte (*Myrtus communis* L.) i alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) te alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) i lemprike (*Viburnum tinus* L.). Ta-

Tablica 6. Rezultati Tukeyevog post hoc (HSD) testa trajanja gorenja (DC) za vrste**Table 6.** Results of Tukeyevog post hoc (HSD) test of combustibility (DC) for species

Tukey Grouping	Sredina	N	Vrsta
A	13.1300	50	Primorski bor (<i>Pinus pinaster</i> Aiton)
B A	12.2606	50	Širokolisna zelenika (<i>Phillyrea latifolia</i> L.)
B	11.9044	50	Hrast crnika (<i>Quercus ilex</i> L.)
C	10.9158	50	Šmrika (<i>Juniperus oxycedrus</i> L.)
C	10.8948	50	Veliki vrijes (<i>Erica arborea</i> L.)
D C	10.5564	50	Alepski bor (<i>Pinus halepensis</i> Mill.)
D C	10.0894	50	Obična planika (<i>Arbutus unedo</i> L.)
D	9.7740	50	Lemprika (<i>Viburnum tinus</i> L.)
E	8.7478	50	Tršlja (<i>Pistacia lentiscus</i> L.)
E	8.4718	50	Obična mirta (<i>Myrtus communis</i> L.)

Opaska: isto slovo znači da ne postoji statistički značajna razlika između testiranih vrsta

Note: The same letter means that there is no statistically significant difference between the species tested

kođer, statistički značajne razlike nema između šmrike (*Juniperus oxycedrus* L.) i hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) te hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) i širokolisne zelenike (*Phillyrea latifolia* L.).

Statistički pokazatelji multivarijantne regresijske analize između zapaljivosti i LFMC te meteoroloških čimbenika su izračunati. Razvidno je da svaki regresijski model kreće od pretpostavke vrsta-specifičnosti, što potvrđuju rezultati

Tablica 7. Rezultati regresijske analize za trajanje gorenja (DC) kao zavisne varijable za sve vrste i oba lokaliteta**Table 7.** Regression results for combustibility as the dependent variable for all species and both sites

	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. Var.	RMSE
model	6	40.08362	6.68060	1.07	0.3821	0.0128	0.0008	23.45538	2.50374
Varijabla	DF	Proc. Param.	Stand. Pogr.	T	Pr > t				
Intercept	1	9.40378	1.99433	4.72	<.0001				
LFMC	1	-0.00547	0.00326	-1.68	0.0935				
Sred. mj. rel. vlaga zraka – Mean monthly air humidity	1	0.03581	0.02405	1.49	0.1370				
Sred. mj. temp. zraka – Mean monthly air temp.	1	-0.02533	0.45563	-0.06	0.9557				
Sred. maks. mj. temp. zraka – Mean max. monthly temp.	1	-0.04408	0.29166	-0.15	0.8799				
Sred. min. mj. temp. zraka – Mean min. monthly temp.	1	0.08632	0.32799	0.26	0.7925				
Sred. mj. kol. oborine – Mean monthly precipitation	1	-0.00230	0.00243	-0.95	0.3435				

drugih autora (Dimitrakopoulos i Papaioannou, 2001; Pellizzaro i dr. 2007). Iz rezultata je vidljivo da statistički značajno zapaljivost svih vrsta na oba lokaliteta ovisi najviše o LFMC koji objašnjava 71 % zapaljivosti. Osim LFMC, vrlo malu statistički značajnu ovisnost pokazuje i srednja mjesečna temperatura zraka ($R^2=0,01$) i srednja mjesečna maksimalna temperatura zraka ($R^2=0,005$). Naša istraživanja potvrđuju, što je utvrđeno od drugih autora, važnost LFMC u determinaciji zapaljivosti vrsta mediteranskog podneblja (Bunting i dr. 1983; Elvira Martin i Hernando Lara, 1989). Da bi se potakla zapaljivost voda mora ispariti, prema tomu, veći sadržaj vlage traži višu temperaturu za zapaljenje (Pyne i dr. 1996; Nelson 2001). Kroz teoretske i eksperimentalne studije vezu između zapaljivosti i sadržaja vlage objasnili su Rundel (1981), Tunstall (1988) i Viegas i dr. (1992).

Rezultati analize varijance trajanja gorenja (DC) pokazuju da postoji statistički značajna razlika u trajanju gorenja (DC) svih promatranih varijabli, osim kod varijable godina* mjesec. Također je utvrđeno srednje trajanje gorenja (DC) svih istraživanih vrsta po svim mjesecima i godinama za oba lokaliteta u iznosu od 10,67 sekundi. S obzirom na trajanje gorenja, a prema rezultatima Tukeyevog post hoc (HSD) testa trajanja gorenja (tablica 5), vrste se mogu podijeliti u pet grupa. Prvu grupu čine primorski bor (*Pinus pinaster* Aiton) i širokolisna zelenika (*Phillyrea latifolia* L.), drugu grupu čine širokolisna zelenika (*Phillyrea latifolia* L.) i hrast crnika (*Quercus ilex* L.). Šmrika (*Juniperus oxycedrus* L.), veliki vrijes (*Erica arborea* L.), alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.) i obična planika (*Arbutus unedo* L.) čine treću grupu. Četvrtu grupu čine alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.), obična planika (*Arbutus unedo* L.) i lemprika (*Viburnum tinus* L.), dok petu grupu čini samo tršlja (*Pistacia lentiscus* L.).

Rezultati multivarijantne regresijske analize za trajanje gorenja svih vrsta na oba lokaliteta su pokazali da nema statistički značajne ovisnosti trajanja gorenja o meteorološkim čimbenicima. Razlog tomu moguće je tražiti u činjenici što

nam nisu i ne mogu biti poznati uvjeti pod kojima se odvija gorenje. Naime, gorenje, kao i odgoda zapaljivosti (DI) specifično je za svaku pojedinu vrstu, jer nema svaka vrsta istu energetska vrijednost, odnosno ona se razlikuje čak i od uzorka do uzorka. To je svojim istraživanjima potvrdio Anderson (1970) koji navodi da različite vrste imaju različita svojstva goriva (horizontalni i vertikalni kontinuitet, poroznost i dr.). Upravo je energetska vrijednost jedan od značajnijih čimbenika trajanja gorenja. Na energetska moć utječu različiti čimbenici. Mnogi istraživači ističu značaj kemijskog sastava (Trabaud, 1976; Alessio i dr. 2008), lignina (Mackinnon, 1987), ugljikohidrata (Nimour Nour, 1997) i minerala (Mutch i Philpot, 1970). Ormeno i dr. (2009) ističu važnost terpena. To su nezasićeni ugljikovodici koji pripadaju skupini prirodnih proizvoda nastalih od sekundarnog metabolizma biljaka, pohranjeni u specijalizirane strukture kao što su žlijezde, šupljine, provodni kanali ili smolne cijevi kod četinjača. Bez obzira na navedeno, dobiveni rezultati mogu poslužiti kao okvirne smjernice korisne za razumijevanje trajanja gorenja u prirodnim uvjetima na različitim lokacijama.

Zaključak Conclusion

Zapaljivost i gorivost prirodnih goriva su kompleksan fenomen te ih je potrebno promatrati kao zasebne varijable. Dobiveni rezultati koji se temelje na laboratorijskom testiranju pokazuju da se oni mogu izravno upotrijebiti u opisu ili predikciji od šumskih požara kada je riječ o zapaljivosti prirodnih goriva u realnim stanišnim uvjetima. S druge strane, kada je riječ o gorivosti, tada rezultate laboratorijskog testiranja nije moguće automatski koristiti, budući se kod samog gorenja događaju specifične stvari. Stoga, ovakav tip rezultata može dati samo okvirne smjernice na kojima treba bazirati daljnja znanstvena istraživanja. Rezultati

dobiveni ovim istraživanjima vrlo su slični rezultatima ranijih istraživanja drugih autora za različite godine i različita područja. S obzirom na prikazane rezultate, može se jasno zaključiti prisutnost varijacija u zapaljivosti i gorivosti živog goriva testiranih vrsta. Najveći utjecaj meteorološki čimbenici imaju na zapaljivost živog goriva, dok je manji utjecaj meteoroloških čimbenika vidljiv kod gorivosti. Dobiveni rezultati mogu dati okvirne smjernice u definiranju indeksa ugroženosti i ponašanja šumskih požara. U svakom slučaju, buduća istraživanja trebaju potvrditi i generalizirati ove rezultate.

Literatura References

- Agree, J. K., Wright, C. S., Williamson, N., Huff, M. H. (2002): Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behaviour. *For. Ecol. Manage* 167: 57–66.
- Aguado, I., Chuvieco, E., Boren, R., Nieto, H. (2007): Estimation of dead fuel moisture content from meteorological data in Mediterranean areas. Applications in fire danger assessment. *Int. J. Wild. Fire* 16, 390–397.
- Alessio, G. A., Penuelas, J., Llusia, J., Ogaya, R., Estiarte, M. De Lillis, M. (2008): Influence of water and terpenes on flammability in some dominant Mediterranean species. *Int. J. Wild. Fire* 17, 274–286.
- Anderson, H. E., 1970: Forest fuel ignitability. *Fire Tehnology* 6, 312–319.
- Bonora, L., Chieccacci, E., Romani, M., Tesi, E., Conese, C. (2006): Correlation between meteorological data and fire occurrence in a Mediterranean area (Tuscany Region). *For. Ecol. Manage.* 234, Supplement 1, S63.
- Bunting, S. C., Wright, H. A., Wallace, W. H. (1983): Seasonal variation in the ignition time of redberry Juniper in west Texas. *Journal of Range Management* 36, 169–171.
- Calvo, L. (1993): Regeneración vegetal en comunidades de *Quercus pyrenaica* Willd. después de incendios forestales. Análisis especial de comunidades de matorral. Doctoral Thesis. University of León, Spain.
- Cappelli, M., Bonani, S., Conci, I. (1983): Sul Grado d Infiammabilità di Alcune Specie Della Macchia Mediterranea. *Collana Verde*, Vol 62, 1–52.
- Casal, M. (1987): Post-fire dynamics of shrublands dominated by Papilionaceae plants. Influence of fire on the stability of Mediterranean forest ecosystems. *Ecología Mediterránea XIII* (4), 87–98.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., Williams, D. (1983): *Fire in Forestry*, John Wiley & Sons, Inc., Vol. I, pp 450.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Dimitrakopoulos, A. P. (2004): Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment. *Can. J. For. Res.* 34, 2284–2293.
- Clausen, S. E., 1998: *Applied Correspondence Analysis: An Introduction*, Sage Publication Inc.
- Dimitrakopoulos, A. P. (2001): A statistical classification of Mediterranean species based on their flammability components. *Int. J. Wild. Fire* 10, 113–118.
- Dimitrakopoulos, A. P., Papaioannou, K. K. (2001): Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuels. *Fire Technol.* 37, 143–152.
- Elvira Martin, L. M., Hernando Lara, C. (1989): Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque: estudio piloto con aplicación a los incendios forestales. *Monografías INIA*, no. 68. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: Madrid, Spain)
- Ferran, A., Serrasolsas, I., Vallejo, V. R. (1992): Soil evolution after fire in *Quercus ilex* and *Pinus pinaster* forests. U: Teller, A., P. Mathy, J. N. R Jeffers (ur.), *Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes*. Elsevier: London, UK, 397–404.
- Hernando Lara, C., Moro, C. Valette, J. C. (1994): Flammability parameters and calorific values of *Erica arborea* and *Arbutus unedo*. U: Viegas, D. X. (ur.): *Proceedings Of II. International Conference On Forest Fire Research*. ADAI, University of Coimbra, Vol. II: 481–489.
- Hogenbirk, J. C., Sarrazin-Delay, C. I. (1995): Using fuel characteristics to estimate plant ignitability or fire hazard reduction. *Water, Air and Soil Pollution* 82, 161–170.
- Kunkel, K. K., 2001. Surface energy budget and fuel moisture. In: Johnson, E.A., Miyanishi, K. (Eds.), *Forest Fires-Behaviour and Ecological Effects*. Academic Press, San Diego, CA, pp. 303–350.
- Mackinnon, A. J. (1987): *The Effect of the Composition of Wood on its Thermal Degradation*. Strathclyde University, Glasgow (United Kingdom).
- Mak, E. H., 1988: Measuring foliar flammability with the limited oxygen method. *Forest Science* 17, 253–259.
- Massari, G., Leopaldi, A. (1998): Leaf flammability in Mediterranean species. *Plant Biosystems* 132, 29–38.
- Mooney, H. A. (1983): Carbon-gaining capacity and allocation patterns of Mediterranean climate plants. U: Kruger, F. J., D. T. Mitchel, J. U. M. Jarvis (ur.), *Mediterranean Type Ecosystems: The Role of Nutrients*. Springer, Berlin, pp. 103–119.
- Mutch, R. W., Philpot, C. W. (1970): Relation of silica content to flammability in grasses. *Forest Sci.* 16, 64–65.
- Naveh, Z., 1999: The role of fire as an evolutionary and ecological factor on the landscapes and vegetation of Mt. Carmel. *Journal of Mediterranean Ecology* 1, 11–25.
- Nelson, R. M., 2001: Water relations of forest fuels. In: Johnson, E. A., Miyanishi, K. (ur.), *Forest Fires – behavior and ecological effects*. Academic Press, San Diego, CA, USA, pp. 79–149.
- Nimor Nour, E. (1997): *Inflammabilité de la végétation méditerranéenne*. Thesis report. Aix-Marseille University, Marseille, France.
- Ormeno, E., Cespedes, B., Sanchez, I. A., Velasco-Garcia, A., Moreno, J. M., Fernandez, C. Baldy, V. (2009): The relationship between terpenes and flammability of leaf litter. *For. Ecol. Manage.* 257, 471–482.
- Pellizzaro, G., Duce, P., Ventura, A., Zara, P. (2007): Seasonal variations of live moisture content and ignitability in shrubs of the Mediterranean Basin. *Int. J. Wild. Fire* 16, 633–641.
- Pereira, M. G., Trigo, R. M., Da Camara, C. C., Pereira, J. M. C., Leite, S. M. (2005): Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology* 129, 11–25.
- Pollet, J. (2003): *Fuel Moisture Sampling Guide*, Bureau of Land Management Utah State Office.

- Pyne, S. J., Andrews, P. L., Laven, R. D. (1996): Introduction to Wildland Fire 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc, NY, 769 pp.
- Roglić, J. (1975): Prirodna osnova. U: ROGIĆ, V. (ur.): Geografija SR Hrvatske, knjiga V., str. 5–42. Školska knjiga Zagreb.
- Rothermel, R. C. (1972): A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA, Forest Service, Research Paper INT-115. (Ogden, UT).
- Rundel, P. W. (1981): Structural and Chemical Components of flammability. U: Mooney, H. A., Bonnicksen, T. M., Christensen, N. L., Lotan, J. E., Reiners, W. A. (ur.): Proceedings of the Conference on fire regimes and ecosystem properties, USDA, Forest service general Technical Report, WO-26, pp. 183–207.
- Sabate, S., Gracia, C. A., Sanchez, A. (2002): Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. For. Ecol. Manage. 162, 23–37.
- SAS Institute Inc., 1999: Cary, NC, USA: SAS Online Doc; <http://v8doc.sas.com/sashtml/>.
- Simard, A. J. (1968): The moisture content of forest fuels – a review of the basic concepts. Forest Fire Research Institute, FF-X-14.
- Skinner, W., Stocks, B., Martell, D., Bonsal, B., Shabbar, A. (1999): The association between circulation anomalies in the mid-troposphere and area burned by wildland fire in Canada. Theor. Appl. Climatol. 63, 89–105.
- Sokal, R. R., Rohlf, F. J. (1995): Biometry. Freeman and Company. New York.
- StatSoft, Inc., 2007: Electronic Statistics Textbook (Electronic Version): Tulsa, OK: StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>
- Sun, L., Zhou, X., Mahalingam, S., Weise, D. (2006): Comparison of burning characteristics of live and dead chaparral fuels. Comb. Flame. 144, 349–359.
- Trabaud, L. (1976): Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la région méditerranéenne. Ecologia plantarum 11, 117–136.
- Trabaud, L. (1980): Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des garrigues du Bas-Languedoc. Thèse Doct. Etat Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, France.
- Tunstall, B. (1988): Live fuel water content. U: Cheney, N. P., Gill, A. M. (ur.): Proceedings of the Conference on Bushfire Modelling and Fire Danger Rating Systems, CSIRO, Australia, pp. 127–137.
- Valette, J. C. (1990): Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes. Conséquences sur la combustibilité des formations forestières, Rev. For. Fr. 42, 76–92.
- Van Wagner, C. E. (1977): Conditions for the start and spread of crown fires. Can. J. For. Res. 7, 23–34.
- Viegas, D. X., Viegas, M. T., Ferreira, A. D. (1992): Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in Central Portugal. Int. J. Wild. Fire 2, 69–86.
- Viegas, D. X., Pinol, J., Viegas, M. T., Ogaya, R. (1998): Moisture content of living forest fuels and their relationship with meteorological indices in the Iberian Peninsula. U: Viegas, D. X. (ur.): Proceedings Of III. International Conference On Forest Fire Research/14th Conference On Fire And Forest Meteorology. ADAI, University of Coimbra, Vol. I: 1029–1046.
- Viegas, D. X., Sol, B., Bovio, G., Nosenzo, A., Ferreira, A. D. (1999): Comparative study of various methods of fire danger. Int. J. Wild. Fire 9 (4), 235–246.
- Viegas, D. X., Pinol, J., Viegas, M. T., Ogaya, R. (2001): Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. Int. J. Wild. Fire 10, 223–240.
- Xanthopoulos G., Wakimoto, R. H. 1992: A time to ignition-temperature-moisture relationship for branches of three western conifers. Can. J. For. Res. 23, 253–258.

Summary:

The Mediterranean ecosystems are affected by human activity, and the present situation is largely a result of intensive human activities and natural changes. Meteorological parameters were having a great impact on the fires. As fires are a natural phenomenon, they are small scale with minor damage can be interpreted as a dynamic natural processes. But the number of forest fires, and thus the size of the burned area, have drastically increased in recent decades. The vegetation of the Mediterranean is specific in many ways, including by cause-and-effect relationship with the forest fires. Specifically, each vegetation type has its own fire regime, and features such as fire interval, the average annual burnt area and severity (intensity of fire). Mediterranean forests are generally poor in terms of the number of species represented. Monodominant are, and as such are easily flammable and subject to the spread of fire from a mixed forest with a large number of species. This paper describes the variation of flammability (ID) major tree species of the Mediterranean area and are presented to estimate the effect of meteorological factors on the above variables. Research was conducted on Teaching Experimental Forest Object Rab Faculty of Forestry, University of Zagreb, and in an experimental laboratory for the protection of forests against fire in Makarska. Tests were carried out in the period of June 2007. until June 2009., one month per location. The results were confirmed by differences in delay between the flammability species tested at all sites, as well as the location of the species tested. The mean delay flammability of all kinds at both sites was 10.60 seconds. The results based on laboratory testing show that they can be directly used in the description and prediction of forest fire when it comes to the flammability of natural fuels in actual site conditions.

KEY WORDS: flammability, forest fires, meteorological factors, Mediterranean