

Zapaljivost i gorivost sastojina alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.)

Željko Španjol, Roman Rosavec, Damir Barčić, Ivo Galić

Nacrtak – Abstract

Sredozemlje je po svojoj biološkoj raznolikosti jedno od najvažnijih regija na svijetu. Na tom su području posljednjih godina često izbijali šumski požari. Najvažniji su uzroci nastanka šumskih požara šumsko gorivo te klimatske prilike. Kako na klimatske prilike ne možemo imati izravan utjecaj, dostupnost mogućega šumskoga goriva, odnosno vegetacije, prostor su za djelovanje u našim nastojanjima da spriječimo nastajanje i širenje šumskih požara. Što se tiče šumskoga goriva, bitno je poznavati osnovna obilježja šumskih požara, a to su odgoda zapaljivosti, trajanje gorenja i sadržaj vlage. Istraživanja su provedena na otoku Rabu u Nastavno-pokusnom šumskom objektu u 40-godišnjoj sastojini alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.). Pritom je primijenjena metodologija koju je detaljno opisao Valette 1990. godine. Prema toj metodologiji za utvrđivanje odgode zapaljivosti i trajanja gorenja korišten je epiradijator (električno laboratorijsko grijalo). Za utvrđivanje sadržaja vlage primijenjena je standardizirana jednadžba (postotno od suhe težine) metodom sušenja u sušioniku prema Škoriću (1965). Dobiveni su rezultati statistički obrađeni. Iz rezultata je vidljivo da klimatske prilike imaju statistički značajan utjecaj na sadržaj vlage odbačenih, odnosno mrtvih iglica, dok utjecaj na odgodu zapaljivosti, trajanje gorenja i sadržaj vlage zelenih, živih iglica nije statistički značajan.

Ključne riječi: zapaljivost, gorivost, sadržaj vlage, alepski bor

1. Uvod – Introduction

Sredozemlje je po svojoj biološkoj raznolikosti jedno od najvažnijih regija na svijetu. To je područje posljednjih godina često zahvaćeno šumskim požarima. Upravo su šumski požari najvažniji i naj snažniji ekološki destabilizatori koji uzrokuju promjene (Trabaud 1991, Casal 1985, Calvo 1993, Le Houerou 1993, Pyne i dr. 1996, Naveh, 1999). Osim što uzrokuju narušavanje prirodne ravnoteže (Rosavec i dr. 2009), šumski požari ubrzavaju devastaciju i degradaciju staništa (Bessie i Johnson 1995, Espelta i dr. 2003, Barčić 2007). Dok požare manjih razmjera s neznatnom štetom možemo pripisati prirodnim čimbenicima i dinamičnosti prirode, broj velikih šumskih požara u Sredozemlju se dramatično povećao u posljednjih nekoliko desetljeća ponajviše kao posljedica povećanja krajobraznih promjena, društveno-ekonomskih previranja i sukoba interesa. Prema Španjolu (1997) proučavanje šumskih požara u mnogim zemljama pokazuje da pozornost treba posvetiti klimatskim, geološkim, reljefnim, pedološkim i vegetacijskim uvjetima

njihova nastanka i širenja, utjecaju na kruženje bioelemenata i svekolikim uvjetima obnove šuma nakon požara. Kada se govori o nastanku i širenju šumskih požara, vegetacijska obilježja, odnosno gorivi materijal i klima (srednje atmosferske prilike) najodlučniji su i najznačajniji čimbenici prirodnoga nastanka i širenja šumskih požara (Rosavec 2010). Za nastanak požara i za zaštitu od njih svakako je najvažniji živi i mrtvi organski pokrov reljefa, jer je on osnovni gorivi materijal različite upaljivosti i opasnosti za širenje podmetnutih, nepažnjom uzrokovanih i prirodno nastalih požara. Gorivo je svaka tvar ili mješavina tvari koja se može zapaliti i gorjeti. Prema Bilandžiji (1992) šumskim se gorivom smatra cjelokupna količina biljnoga materijala, mrtvog i živoga, koja se nalazi iznad mineralnoga dijela tla. To se gorivo međusobno razlikuje po mogućnosti zapaljenja i brzini gorenja u određenim vremenskim uvjetima (Bilandžija 1995), a utjecaj na razvitak i tijek požara ima prostorni horizontalni i vertikalni slijed goriva (Bilandžija i Lindić 1993). Veliku opasnost čine neure-

đene, nečišćene i nenjegovane sastojine (kulture i prirodne šume), posebice uz turistička odredišta, gdje je vjerojatnost izbijanja požara nemarom i nepažnjom golema (Maršić 2007). Najopterećenije su količinom šumskoga goriva borove kulture, osobito ako se radi o mlađim sastojinama. Tako Španjol (1996) ističe da u kulturama alepskoga bora u dobi od desetak godina može biti i do milijun biljaka po hektaru. Prema tome, osim razumijevanja i poznavanja biološko-ekoloških posljedica šumskih požara i metoda sanacije i obnove opožarenih površina, poznavanje obilježja za nastanak šumskih požara te obilježja za početno širenje vatre najvažniji su čimbenici u borbi protiv šumskih požara. Ta najznačajnija obilježja su zapaljivost, gorivost i sadržaj vlage mogućega šumskoga goriva. Upravo su ta navedena obilježja u mnogim zemljama, ponajprije u Sredozemlju, glavni predmet znanstvenoistraživačkoga rada. Anderson (1970), Mak (1988), Hogenbirk i Sarrazin-Delay (1995) i Pellizzaro i dr. (2007) zapaljivost označuju kao sposobnosti pojedinih goriva da se zapale, dok se gorivost definira kao sposobnost goriva da podržava vatru. Sadržaj je vlage goriva prepoznat kao jedan od najkritičnijih čimbenika koji utječu na nastanak i širenje požara (Van Wagner 1977, Andre i dr. 1992, Agee i dr. 2002, Chuvieco i dr. 2004). Da postoji velika povezanost zapaljivosti sredozemnih vrsta i sadržaja vlage u njima, utvrdili su Dimitrakopoulos i Papaioannou (2001) te Alessio i dr. (2008). Kako su šumski požari snažan ekološki destabilizator ekosustava te u znatnoj mjeri ugrožavaju biološku raznolikost koja je u uskoj vezi sa trajno održivim razvojem, biološko-ekološke posljedice šumskih požara kao i obnova opožarenih površina temelj su dosadašnjih znanstvenih istraživanja provedenih u nas, stoga ova istraživanja predstavljaju jedan zaokret i potpuno novi smjer u znanstveno-istraživačkom radu iz problematike šumskih požara u Hrvatskoj.

2. Problematika istraživanja – Research issues

Kako je istaknuto, šumski požari uzrokuju dugoročne, vrlo teške ekološke, gospodarske i društveno-ekonomske posljedice, koje su, uglavnom, mnogo veće i teže od šteta nastalih zbog izgaranja drva. Također, istaknuto je da su klimatske prilike i vegetacija odlučujući čimbenici u nastanku i širenju požara. Kako na klimatske, geološke, pedološke i reljefne čimbenike ne možemo imati izravan utjecaj, dostupnost mogućega šumskoga goriva, odnosno vegetacije prostor su za djelovanje u našim nastojanjima da spriječimo nastajanje i širenje šumskih požara. Prema tomu, i uz povoljne klimatske prilike za nastajanje šumskih požara opasnost od njih bit će sve-

dena na najmanju moguću mjeru ako njegovom smanjimo količinu mogućega šumskoga goriva. Stoga pravodobno i prema pravilima struke obavljena njezga sastojina i kultura uvelike utječe na smanjenje broja požara i veličinu izgorene površine. Provedenim istraživanjima nastoji se upozoriti na važnost njege kao jednoga od odlučujućih čimbenika u borbi protiv šumskih požara te utvrditi koliki je utjecaj osnovnih klimatskih čimbenika (temperatura zraka, vlaga zraka i količina oborina) na odgodu zapaljivosti i trajanje gorenja goriva.

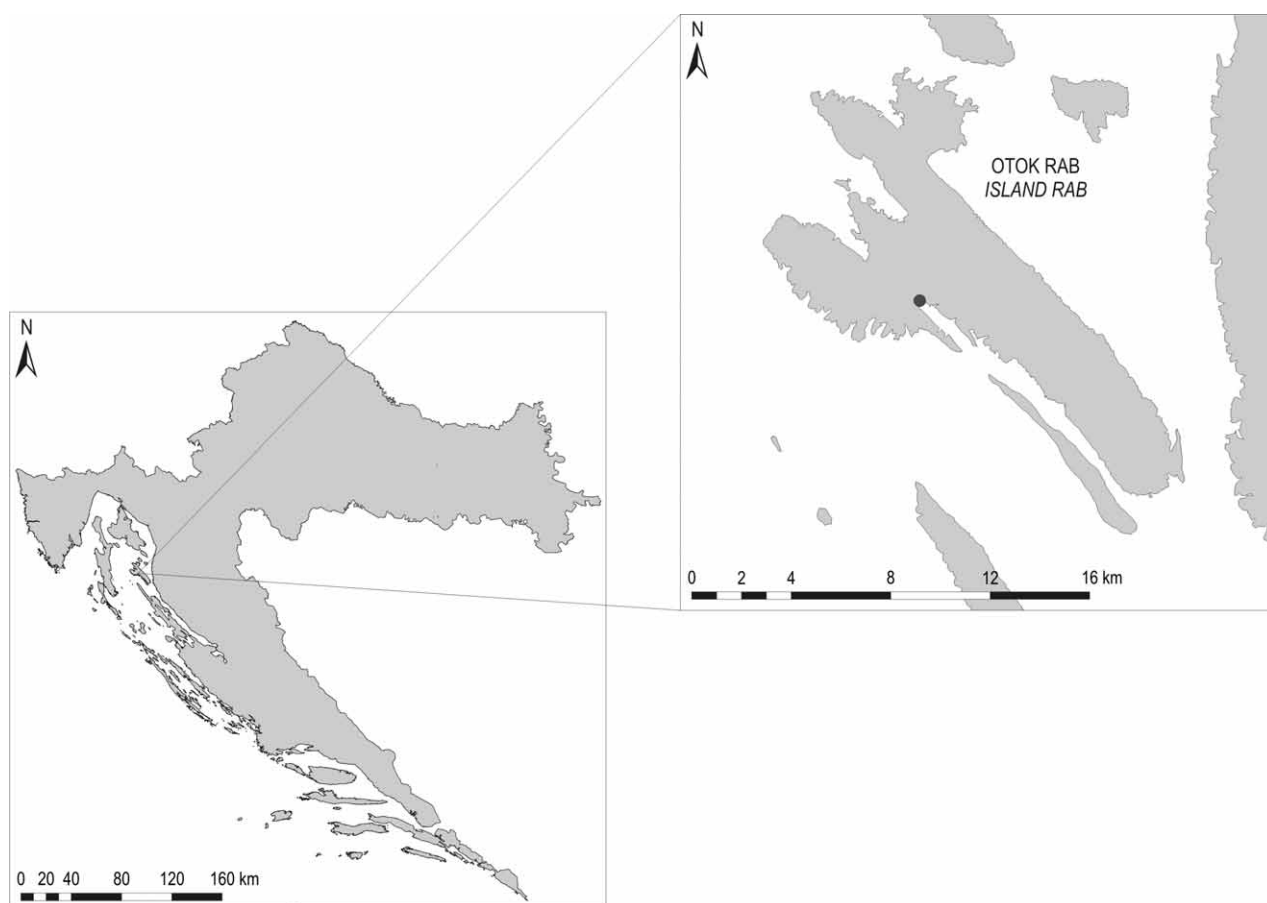
3. Materijal i metode – Material and methods

Testiranje odgode zapaljivosti, odnosno vremena potrebnoga da se uzorak upali, i trajanja gorenja, odnosno vremena koje protekne od trenutka zapaljenja pa do samostalnoga gašenja uzorka, te utvrđivanje sadržaja vlage mrtvog (odbačene iglice) i živoga (zelene iglice) goriva obavljeno je u razdoblju od lipnja 2007. godine do lipnja 2009. godine na Rabu u NPŠO Rab Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u 40-godišnjoj sastojini alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.). Za testiranje odgode zapaljivosti i trajanja gorenja živoga goriva primijenjena je metodologija koju je propisao Valette (1990). Prema spomenutoj metodologiji uzorci lišća, odnosno živoga goriva, skupljani su uvijek na jednakim lokacijama. Za pojedinu se vrstu na lokaciji ubralo oko 150 g lišća koje se stavljalo u posude s hermetičkim zatvaračem radi sprečavanja vanjskih utjecaja. Testiranje se obavljalo u dvjema serijama, od kojih je svaka imala po 25 uzoraka. Težina jednoga uzorka iznosila je 1 gram. Samo testiranje odgode zapaljivosti i trajanja gorenja obavljeno je, prema metodologiji, korištenjem epiradijatora (laboratorijsko električno grijalo), tip 534 Rc2, proizvođača *Quartz Saint-Gobain*, snage 500 W. On se sastoji od metalnih spirala koje su smještene u disk od čistoga silicija promjera 100 mm. Takav električni otpor daje infracrveno zračenje od 3μ (3×10^{-6}) uz 7,5 W (7,5 J/s) po cm^2 . Sadržaj vlage testiranih uzoraka živoga i mrtvog goriva dobiven je pomoću standardizirane jednadžbe za utvrđivanje sadržaja vlage (postotno od suhe težine) metodom sušenja u sušioniku. Jednadžba glasi:

$$\text{LFMC (DFMC)} = ((\text{FW} - \text{DW}) / \text{DW}) \times 100 \quad (1)$$

Gdje je:

LFMC	sadržaj vlage testiranoga uzorka živoga goriva
DFMC	sadržaj vlage testiranoga uzorka mrtvog goriva
FW	masa svježega uzorka
DW	masa suhoga uzorka



Slika 1. Zemljopisni položaj otoka Raba

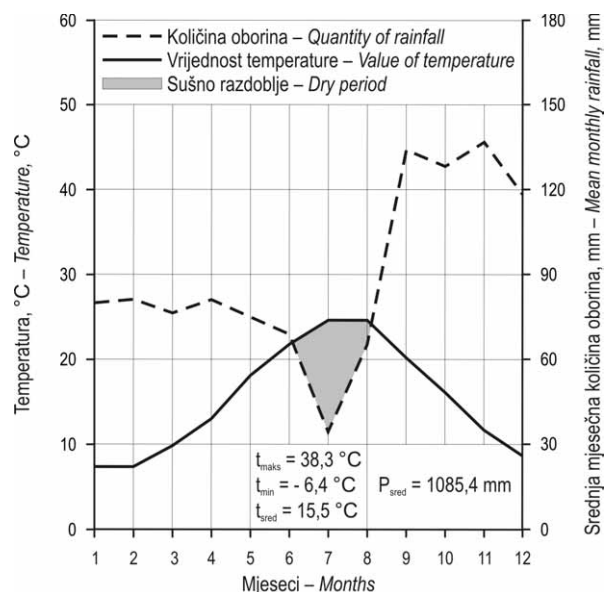
Fig. 1 Geographical position of the Island of Rab

Dobiveni su rezultati statistički obrađeni. Pritom su korišteni statistički paketi SAS i STATISTISA 7.1 (Clausen 1998, SAS Institute Inc. 1999, StatSoft, Inc. 2007).

4. Područje istraživanja – Area of research

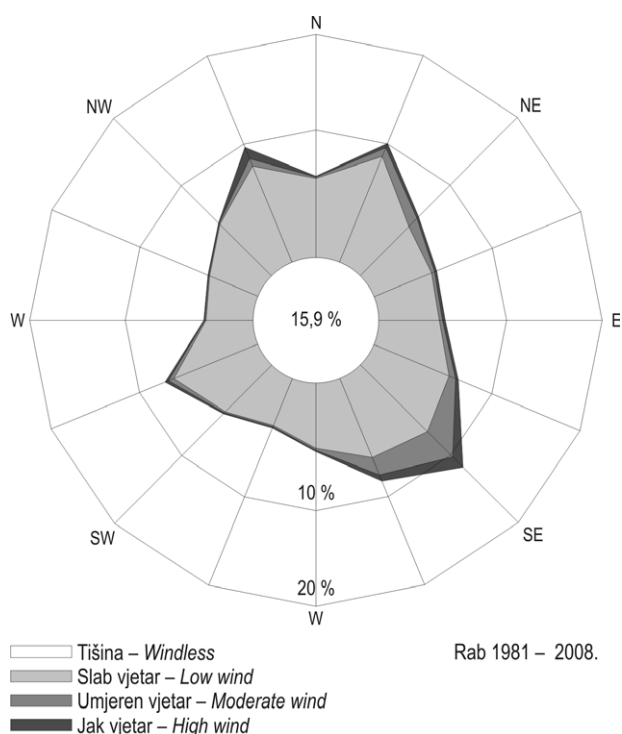
Otok Rab se nalazi u kvarnerskoj otočnoj skupini te zajedno s nekoliko okolnih otočića, hridi i grebena čini rapsku otočnu skupinu (slika 1).

Morfološka struktura reljefa otoka Raba određena je longitudinalnim pružanjem osnovnih reljefnih zona: kalifrontska zona niskih vapnenačkih zaravni, središnja flišna zona, vapnenački niz Kamenjaka, niska flišna loparska zona. U građi otoka Raba sudjeluju gornjokredne paleogenske kvartarne naslage od kojih su naslage kvartara mnogo slabije razvijene, dok najveću rasprostranjenost imaju naslage krede i paleogena. Naslage kvartara predstavljene su čvršćim ili slabije vezanim siparišnim brečama te vapnenim drobištem pomiješanim s pijeskom i crvenicom, zatim potočnim i bujičnim nanosima u po-



Slika 2. Walterov klimatski dijagram za Rab za razdoblje 1981–2008. (Izvor: DHMZ)

Fig. 2 Walter's climatic diagram for Rab for the period 1981–2008 (Source: MHS)



Slika 3. Godišnja ruža vjetra za razdoblje 1981–2008. (Izvor: DHMZ)
Fig. 3 Annual wind rose for the period 1981–2008 (Source: MHZS)

druću većih jaruga (Španjol 1995). Vranković je (1976) na Rabu u Kalifrontu utvrdio ove tipove tala: crvenica, eutrično smeđe tlo i smeđe tlo na vapnencu i do-

lomitu. Za prikaz godišnjega hoda temperature zraka i količine oborine upotrijebljen je Walterov klimatski dijagram (Walter 1955). On, među ostalim, pokazuje međusobni odnos srednje mjesečne temperature zraka i količine oborine (slika 2). Učestalost pojedinih smjerova vjetra prikazan je ružom vjetrova (slika 3). Šumska vegetacija otoka Raba prema Trinajstiću (1986) pripada mediteranskoj regiji, tj. mediteransko-litoralnom vegetacijskomu pojasu i eumediteranskoj vegetacijskoj zoni vazdazelenih šuma. Najvažniji je edifikator eumediteranske vegetacijske zone hrast crnika (*Quercus ilex* L.) čije su šume temeljna šumska vegetacija, a to je na otoku Rabu šuma hrasta crnike i crnoga jasena (*Fraxino orniquercetum ilicis* H-ić /1956/ 1958). Na Rabu ni jedna vrsta iz roda *Pinus* nije autohtona, a to znači da su borovi na Rabu alohtone vrste.

5. Rezultati istraživanja – Results of research

Rezultati multivarijatne regresijske analize za odgodu zapaljivosti alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) na Rabu prikazani u tablici 1 pokazali su da nema statistički značajne ovisnosti odgode zapaljivosti o korištenim varijablama klimatskih čimbenika.

U tablici 2 prikazani su rezultati multivarijatne regresijske analize trajanja gorenja alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) na Rabu. Oni pokazuju da

Tablica 1. Rezultati regresijske analize odgode zapaljivosti alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) kao zavisne varijable
Table 1 Regression results of ignition delay of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) as the dependent variable

Model	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. var. Var. coeff.	RMSE
Model	6	3,61647	0,60274	0,18	0,9793	0,0561	-0,2585	13,92013	1,83840
Varijabla - Variable	DF	Procijenjeni parametri Estimated parameters		Standardna pogreška Standard Error		t	Pr > t		
Odsječak - Intercept	1	9,15408		8,56190		1,07	0,2991		
Srednja mjesečna vlaga zraka Mean monthly air humidity	1	0,01518		0,08498		0,18	0,8602		
Srednja mjesečna temperatura zraka Mean monthly air temperature	1	1,10666		2,11468		0,52	0,6071		
Srednja mjesečna maks. temperatura zraka Mean monthly max. temperature	1	-0,35631		1,14764		-0,31	0,7598		
Srednja mjesečna min. temperatura zraka Mean monthly min. temperature	1	-0,80969		1,51922		-0,53	0,6006		
Srednja mjesečna količina oborina Mean monthly rainfall	1	0,00105		0,00804		0,13	0,8972		

Tablica 2. Rezultati regresijske analize trajanja gorenja alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) kao zavisne varijable
Table 2 Regression results of duration of combustion of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) as the dependent variable

Model Model	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. var. Var. coeff.	RMSE
	6	18,44877	3,07479	0,65	0,6875	0,1788	-0,0950	20,60565	2,16978
Varijabla - Variable	DF	Procijenjeni parametri Estimated parameters		Standardna pogreška Standard Error		t	Pr > t		
Odsječak - Intercept	1	7,37497		10,10518		0,73	0,4749		
Srednja mjesečna vlaga zraka Mean monthly air humidity	1	0,06901		0,10030		0,69	0,5002		
Srednja mjesečna temperatura zraka Mean monthly air temperature	1	2,01928		2,49585		0,81	0,4290		
Srednja mjesečna maks. temperatura zraka Mean monthly max. temperature	1	-1,11742		1,35450		-0,82	0,4202		
Srednja mjesečna min. temperatura zraka Mean monthly min. temperature	1	-0,74598		1,79306		-0,42	0,6823		
Srednja mjesečna količina oborina Mean monthly rainfall	1	0,00376		0,00949		0,40	0,6962		

Tablica 3. Rezultati regresijske analize sadržaja vlage zelenih iglica alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) kao zavisne varijable
Table 3 Regression results of moisture content of green needles of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) as the dependent variable

Model Model	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. var. Var. coeff.	RMSE
	5	548,84111	109,76822	0,59	0,7041	0,1354	-0,0922	10,30305	13,58272
Varijabla - Variable	DF	Procijenjeni parametri Estimated parameters		Standardna pogreška Standard Error		t	Pr > t		
Odsječak - Intercept	1	101,62564		58,80491		1,73	0,1002		
Srednja mjesečna vlaga zraka Mean monthly air humidity	1	-0,03713		0,62779		-0,06	0,9535		
Srednja mjesečna temperatura zraka Mean monthly air temperature	1	-19,10144		14,99677		-1,27	0,2181		
Srednja mjesečna maks. temperatura zraka Mean monthly max. temperature	1	12,19459		8,00429		1,52	0,1441		
Srednja mjesečna min. temperatura zraka Mean monthly min. temperature	1	6,77784		11,11626		0,61	0,5493		
Srednja mjesečna količina oborina Mean monthly rainfall	1	0,05830		0,05786		1,01	0,3263		

nema statistički značajne ovisnosti DC o korištenim varijablama.

U tablici 3 prikazani su rezultati multivarijatne regresijske analize za sadržaj vlage zelenih iglica alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) na Rabu.

Oni pokazuju da nema statistički značajne ovisnosti njihova sadržaja vlage i korištenih klimatskih varijabli.

U tablici 4 prikazani su rezultati multivarijatne regresijske analize za sadržaj vlage odbačenih iglica

Tablica 4. Rezultati regresijske analize sadržaja vlage odbačenih iglica alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.) kao zavisne varijable
Table 4 Regression results of moisture content of discarded needles of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) as the dependent variable

Model Model	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. var. Var. coeff.	RMSE
	3	1675,43158	558,47719	31,19	< 0,0001	0,8097	0,7837	4,40010	4,23133
Varijabla - Variable	DF	Procijenjeni parametri Estimated parameters		Standardna pogreška Standard Error		t	Pr > t		
Odsječak - <i>Intercept</i>	1	71,85283		11,99923		5,99	< 0,0001		
Srednja dnevna vlaga zraka <i>Mean daily air humidity</i>	1	0,39240		0,16877		2,33	0,0297		
Srednja dnevna temperatura zraka <i>Mean daily air temperature</i>	1	-0,45723		0,15445		-2,96	0,0072		
Dnevna količina oborina <i>Daily rainfall</i>	1	2,39561		0,46594		5,14	< 0,0001		

alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.). Statistički značajno sadržaj vlage odbačenih iglica ovisi o svim korištenim varijablama.

6. Rasprava – Discussion

Odgoda zapaljivosti, trajanje gorenja, sadržaj vlage zelenih iglica i odbačenih iglica složeni su fenomeni koji se međusobno razlikuju. Oni se u mjesnim životnim uvjetima ne mogu adekvatno procijeniti i utvrditi zbog izravnoga utjecaja okolišnih čimbenika. Laboratorijsko testiranje pruža mogućnost razvijanja različitih modela pomoću kojih bi se mogla procijeniti njihova vrijednost. Kako navode Renkin i Despan (1992), Viegas i dr. (1992) te Albini (1993), rezultati takvih istraživanja odražavaju realnu odgodu zapaljivosti u prirodi, jer su vrijednosti sadržaja vlage testiranih uzoraka unutar raspona koji se može utvrditi u prirodnim okolnostima. Iz rezultata je istraživanja razvidno da osnovni klimatski parametri nemaju statistički značajan utjecaj na odgodu zapaljivosti, trajanje gorenja i sadržaj vlage zelenih iglica, za razliku od odbačenih iglica gdje je taj utjecaj izrazito statistički značajan. Stoga je za početak požara presudna dostupnost mrtvoga goriva (odbačenih iglica) te stanje sadržaja vlage u njima. Mrtvo je gorivo često presudni čimbenik u nastajanju požara. Uglavnom, požar uvijek započinje na mrtvom gorivu. Sadržaj vlage mrtvoga goriva brže se i češće mijenja nego sadržaj vlage živoga goriva. Kako navodi Simard (1968), otpuštanje ili prihvaćanje vlage svakako ovisi ponajprije o fizikalnim i kemijskim svojstvima, ali je, bez obzira na ta svojstva, presudna uloga klimatskih aktivnosti (kiša, vjetar, sunčana razdoblja, kondenzacija, zračna vlaga i dr.). Njegove su spoznaje po-

tvrdili i Castro i dr. (2003). Sadržaj vlage, odnosno vode, najbolje determinira sposobnost zapaljenja goriva, te ako se ono zapali, koliko će biti učinkovito izgaranje nakon paljenja. Značajan utjecaj sadržaja vlage na zapaljivost goriva može se prikazati na isparavanju i isključivanju kisika iz zone izgaranja (Brown i Davis 1973). Prema svemu sudeći energija zapaljenja manja je kod većega sadržaja vlage. S druge strane, sadržaj vlage utječe na ponašanje vatre, jer kad je gorenje smanjeno zbog vlažnosti goriva, i daljnja je zapaljivost ograničena.

7. Zaključci – Conclusions

Požari su prepoznati kao kritični stalno prisutni čimbenik narušavanja prirodnih procesa. Iako se u mnogim zemljama troše znatna sredstva na znanstvena istraživanja ove problematike, činjenica je da rezultati takvih istraživanja sigurno neće spriječiti nastajanje šumskih požara. Rezultati dobivenih istraživanja trebaju poslužiti kao podloga i smjernice u preventivnim aktivnostima kako bi se umanjio broj požara i smanjila izgorena površina. Osim toga, ovakvi rezultati trebaju poslužiti što boljoj protupožarnoj politici, a na korist potrajnoga gospodarenja i očuvanja općekorisnih funkcija. Rezultati provedenih istraživanja potvrđuju činjenicu da klimatski čimbenici imaju značajniji utjecaj na sadržaj vlage odbačenih mrtvih iglica u odnosu na zelene iglice. To jasno govori o važnosti provođenja šumskouzu- gojnih radova, odnosno njege, kako bi se pravodobnim i adekvatnim zahvatima smanjila količina mrtvoga goriva, odnosno odbačenih iglica kao potencijalnoga izvora za nastajanje i daljnje razvijanje požara.

8. Literatura – References

- Agee, J. K., C. S. Wright, N. Williamson, M. H. Huff, 2002: Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behaviour. *For. Ecol. Manage.*, 167: 57–66.
- Albini, F. A., 1985: A model for fire spread in wildland fuels by radiation. *Combust. Sci. Technol.*, 42 (5–6): 229–258.
- Alessio, G. A., J. Penuelas, J. Llusia, R. Ogaya, M. Estiarte, M. de Lillis, 2008: Influence of water and terpenes on flammability in some dominant Mediterranean species. *Int. J. Wild. Fire*, 17 (2): 274–286.
- Anderson, H. E., 1970: Forest fuel ignitability. *Fire Technology*, 6 (4): 312–319.
- Andre, J. C. S., A. G. Lopes, D. X. Viegas, 1992: Caderno Científico sobre Incêndios Florestais. Grupo de Mecânica dos Fluidos, Universidade de Coimbra, 148 str.
- Barčić, D., 2007: Odnosi stanišnih čimbenika u sastojinama crnoga bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold) u Hrvatskom primorju i u Istri (*Interactions of site factors in stands of black pine /Pinus nigra J. F. Arnold/ in the Hrvatsko primorje and Istria*). Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 114 str.
- Bessie, W. C., E. A. Johnson, 1995: The relative importance of fuels and weather on fire behaviour in subalpine forests. *Ecology*, 76: 747–762.
- Bilandžija, J., 1992: Prirodno opterećenje sastojina alepskog, primorskog i crnog bora šumskim gorivima (*Natural load of aleppo pine, maritime pine and black pine by forest fuel*). *Radovi*, 27 (2): 105–113.
- Bilandžija, J., V. Lindić, 1993: Utjecaj strukture šumskog goriva na vjerojatnost pojave i razvoja požara u sastojinama alepskog bora (*The influence of forest fuels and the likelihood of fire in Aleppo pine stands*). *Radovi*, 28 (1–2): 215–224.
- Bilandžija, J., 1995: Struktura goriva, vjerojatnost pojave i razvoj požara u sastojinama primorskog i crnog bora na Biokovu (*The structure of fuel, the probability of occurrence and development of fire in stands of coastal and pine on Biokovo*). Prirodoslovna istraživanja Biokovskog područja, Ekološke monografije. 4, HED, Zagreb, str. 293–297.
- Brown, A. A., K. J. Davis, 1973: Forest fires: Control and use. Academic press, New York, 686 str.
- 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, 245 str.
- Casal, M., 1985: Cambios en la vegetación del matorral tras incendio en Galicia. Estudios sobre Prevención y Efectos Ecológicos de los Incendios Forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, str. 93–101.
- Castro, F. X., A. Tudela, M. T. Sebastia, 2003: Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain). *Agricultural and Forest Meteorology*, 116: 49–59.
- Chuvieco, E., I. Aguado, A. P. Dimitrakopoulos, 2004: Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment. *Can. J. For. Res.*, 34 (11): 2284–2293.
- Clausen, S. E., 1998: Applied Correspondence Analysis: An Introduction. Sage Publication Inc.
- Dimitrakopoulos, A. P., K. K. Papaioannou, 2001: Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuels. *Fire Technol.*, 37 (2): 143–152.
- Espelta, J. M., J. Retana, A. Habrouk, 2003: An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. *For. Ecol. Manage.*, 180 (1–3): 185–198.
- Hogenbirk, J. C., C. I. Sarrazin-Delay, 1995: Using fuel characteristics to estimate plant ignitability or fire hazard reduction. *Water, Air and Soil Pollution*, 82 (1–2): 161–170.
- Le Houerou, H. N., 1993: Land degradation in Mediterranean Europe: can agroforestry be a part of the solution? A prospective review, *Agroforestry Systems*, 21 (1): 43–61.
- Mak, E. H. T., 1988: Measuring foliar flammability with the limited oxygen indeks method. *Forest Science*, 34 (2): 523–529.
- Maršić, M., 2007: Požar kao čimbenik promjena u mediteranskim šumama (*Fire as a factor for change in Mediterranean forests*). Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 136 str.
- 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.
- Pellizzaro, G., P. Duce, A. Ventura, P. Zara, 2007: Seasonal variations of live moisture content and ignitability in shrubs of the Mediterranean Basin. *Int. J. Wild. Fire*, 16 (5): 633–641.
- Pyne, S. J., P. L. Andrews, R. D. Laven, 1996: Introduction to Wildland Fire, 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc, NY, 769 str.
- Renkin, R. A., D. G. Despain, 1992: Fuel Moisture, Forest Type and Lightning-Caused Fires in Yellowstone National Park. *Can. J. for. Res.*, 22: 37–45.
- Rosavec, R., 2010: Odnos čimbenika klime i zapaljivosti nekih mediteranskih vrsta kod šumskih požara (*Relation between climate factors and the flammability of some Mediterranean species in forest fires*). Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 175 str.
- Rosavec, R., D. Dominko, D. Barčić, D. Starešinić, Ž. Španjol, K. Biljaković, M. Ožura, N. Marković, D. Bognolo, 2009: Analiza raspodjele površina zahvaćenih šumskim požarom na otocima Braču, Korčuli i Rabu. *Šumarski list*, 133 (5–6): 301–307.
- SAS Institute Inc., 1999: Cary, NC, USA: SAS Online Doc.
- Simard, A. J., 1968: The moisture content of forest fuels – a review of the basic concepts. Forest Fire Research Institute, FF-X-14, Ottawa, Ontario, 47 str.
- Statsoft, Inc., 2007: Electronic Statistics Textbook (Electronic Version): Tulsa, OK: StatSoft.

Španjol, Ž., 1995: Prirodna obilježja Raba (*Natural features of Rab*). Barbat, Rab – Zagreb, 429 str.

Španjol, Ž., 1996: Biološko-ekološke i vegetacijske posljedice požara u borovim sastojinama i njihova obnova (*Biological and ecological effects of fire and vegetation in pine stands and their regeneration*). Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 360 str.

Španjol, Ž., 1997: Forest fires in the aleppo pine stands (*Pinus halepensis* Mill.) in Croatia. International Scientific Conference »Forest-Wood-Environment«, Zvolen, Working group No 2: Growth Processes and Silviculture in Present Ecological Conditions, str. 173–184.

Trabaud, L., 1991: Le feu est-il un facteur de changement pour les systèmes écologiques du bassin méditerranéen? *Sécheresse*, 3 (2): 163–174.

Trinajstić, I., 1986: Fitogeografsko raščlanjenje šumske vegetacije istočnojadranskog sredozemnog područja – polazna osnovica u organizaciji gospodarenja mediteranskim šumama (*Phytogeographical divides into forest vegetation of*

the East Mediterranean area – the starting base in the organization management of Mediterranean forests). Glas. šum. pokuse, pos. izd., 2: 53–67.

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 (1): 23–34.

Viegas, D., M. T. Viegas, A. D. Ferreira, 1992: Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in Central Portugal. *Int. J. Wild. Fire*, 2 (2): 69–86.

Vranković, A., 1976: Osnovna pedološka karta sekcije Senj 1M (*Basic Soil Map section Senj 1M*), 1:50000. VGI, Beograd.

Walter, H., 1955: Die Klima-Diagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetations- und landwirtschaftliche Zwecke. *Ber. Deutsch. Bot. Bes.*, 68: 331–344.

Abstract

Flammability and Combustibility of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) Stands

*In terms of its biodiversity, the Mediterranean area is one of the most important regions in the world. In recent years this area has often been affected by forest fires. Forest fires are the most important and most powerful environmental factor causing changes (Trabaud 1991, Casal 1985, 1993 Calvo, Le Houerou 1993, Pyne et al. 1996, Naveh, 1999). When talking about the occurrence and spread of forest fires, vegetation characteristics, fuel supplies and climate factors (mean atmospheric conditions) are the most decisive and important factors of natural origin (Rosavec 2010). Fuel is any substance or mixture of substances that can be ignited and burn. Forest fuels mostly come from pine culture, especially when speaking of younger stands. As we cannot have a direct impact on climate, geology, soil and relief factors, our efforts should be focused on potential availability of forest fuels and vegetation where we can prevent the occurrence and spread of wildfires. Accordingly, and with favorable climatic conditions for starting forest fire, fire risk can be reduced to a minimum if care measures are taken regulating the amount of the potential of forest fuels. Therefore, timely and according to professional standards of care measures derived stands and culture greatly influenced the reduction in the number and size of fire burn area. Testing of ignition delay, i.e. the time required to ignite the sample, and burning duration, or time elapsed from the moment of ignition to self-quenching of the sample, and determination of moisture content of dead (discarded needles) and living (green needles) fuel was carried out in the period from June 2007 to June 2009 at the educational center NPŠO Rab, Faculty of Forestry, University of Zagreb, in a 40-year stand of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.). The methodology prescribed by Valette (1990) was used to test the ignition delay and burning of the living fuel. The moisture content of tested samples of living and dead fuels were obtained using a standard equation for determining the moisture content (percentage of dry weight), the drying method. Investigations were conducted on the island. It is located in the Kvarner group of islands, and along with several surrounding islands, islets and reefs makes the Rab archipelago. In the structure of the Island of Rab, Upper Paleogene Quaternary sediments are present but they are much less developed, while chalk and Paleogene sediments largely prevail. Walter climate diagram (Walter 1955) was used to view the annual variation of air temperature and precipitation was used. He, among other things, shows the relationship mean monthly temperature and precipitation (Fig. 2). The frequency of certain wind directions is shown in the wind rose (Fig. 3). According to Trinajstić (1986), the forest vegetation of the Island of Rab belongs to the Mediterranean region, i.e. to the Mediterranean-littoral vegetation zone and eumediterranean vegetation zone of evergreen forests. The results of multivariate regression analysis of ignition delay of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) on Rab are shown in Table 1. There was no statistically significant dependence of the ignition de-*

lay on used variables of climate factors. Table 2 presents the results of multivariate regression analysis of the duration of combustion of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) on Rab. They show no statistically significant dependence of the DC on used variables. Table 3 presents the results of multivariate regression analysis of moisture content of green needles of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) on Rab. They show no statistically significant dependence of their moisture content and climatic variables used.

Table 4 presents the results of multivariate regression analysis of moisture content of discarded needles of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) on the Island of Rab. There is a statistically significant dependence of moisture content of discarded needles on all variables. The results of research show that the main climatic parameters have no significant influence on the ignition delay, combustion duration and moisture content of green needles, as opposed to discarded needles where the impact is statistically highly significant. This clearly indicates the importance of conducting forest silvicultural and tending activities aimed at timely and properly reducing the amount of dead fuel, or discarded needles, as a potential source for the occurrence and further development of the fire.

Keywords: inflammability, combustibility, moisture content, Aleppo pine

Adresa autorâ – Authors' address:

Izv. prof. dr. sc. Źeljko Španjol
e-pošta: spanjol@sumfak.hr
Dr. sc. Roman Rosavec
e-pošta: rosavec@sumfak.hr
Doc. dr. sc. Damir Barčić
e-pošta: barcic@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb
HRVATSKA

Doc. dr. sc. Ivo Galić
e-pošta: ivo.galic@rgn.hr
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6
HR-10 000 Zagreb
HRVATSKA