

Prilog poznavanju parametara sadržaja vlage živog (LFMC) i mrtvog (DFMC) šumskog goriva lemprike (*Viburnum tinus* L.)

Contribution to the knowledge of the moisture content parameters of live (LFMC) and dead (DFMC) forest fuel of strawberry tree (*Viburnum tinus* L.)

izv. prof. dr. sc. Roman Rosavec
prof. dr. sc. Damir Barčić
izv. prof. dr. sc. Damir Ugarković
prof. dr. sc. Željko Španjol

SAŽETAK

Klimatski parametri imaju velik utjecaj na požare. Najznačajniji klimatski čimbenici koji se uzimaju u obzir kad su u pitanju šumski požari su temperatura i vlaga, odnosno voda (oborine). Sadržaj vlage živog goriva (LFMC) i mrtvog goriva (DFMC) su složeni fenomeni koji se međusobno razlikuju kod pojedine vrste drveća. Promjene u sadržaju vlage su povezane s atmosferskim prilikama i dostupnoj vlagi u tlu s jedne strane te ekofizikalnim karakteristikama vrste s druge strane.

Rezultatima ovih istraživanja utvrđene su točne vrijednosti sadržaja vlage živog i mrtvog goriva lemprike (*Viburnum tinus* L.). Oni bi trebali pomoći kao smjernice u što boljoj protupožarnoj politici, a na korist potrajnog gospodarenja i očuvanja općekorisnih funkcija šuma.

Ključne riječi: požari, sadržaj vlage, živo gorivo, mrtvo gorivo, Mediteran, lemprika (*Viburnum tinus* L.)

izv. prof. dr. sc. Roman Rosavec, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, rrosavec@sumfak.hr

prof. dr. sc. Damir Barčić, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, dbarcic@sumfak.hr

izv. prof. dr. sc. Damir Ugarković, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 23, 10 000 Zagreb, dugarkovic@sumfak.hr

prof. dr. sc. Željko Španjol, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, zspanjol@sumfak.hr

Summary

In recent years, there has been an increase in the number of forest fires and burned areas in the wider Mediterranean area, including our country. The increased danger is present in all areas affected by the Mediterranean climate.

Climatic parameters have a great impact on fires. The most important climatic factors that are taken into account when it comes to forest fires are temperature and humidity or water (precipitation). The moisture content of live (LFMC) and dead fuel (DFMC) are complex phenomena that differ among tree species. Changes in moisture content are related to atmospheric conditions and available soil moisture on the one hand, and the eco-physical characteristics of the species on the other.

*The results of these researches determined the exact values of live and dead fuel moisture content in the strawberry tree (*Viburnum tinus* L.). They should help as guidelines in the best possible fire policy, and in favour of sustainable management and preservation of public forest functions.*

Taking into account the influence of the researched meteorological factors on the live fuel moisture content and the dead fuel moisture content, it can be concluded from the obtained results that the researched meteorological factors have an impact on the dead fuel moisture content, while there was no such impact on the live fuel moisture content.

Keywords: *fires, moisture content, live fuel, dead fuel, Mediterranean, strawberry tree (*Viburnum tinus* L.)*

UVOD

Introduction

Tijekom posljednjih godina zabilježen je porast broja šumskih požara i spaljene površine na širem području Sredozemlja pa tako i u našoj zemlji. Povećana opasnost prisutna je u svim područjima koja su pod utjecajem mediteranske klime.

Općenito govoreći, hrvatsko sredozemno područje pripada maritimno-suptropskom klimatskom tipu. Ljeti prevladava zračna struja etezija, koja je pokrenuta cirkulacijskim sustavima anticiklona zapadne i srednje Europe, a anticiklone su odvojci subtropskog područja visokog tlaka, pomaknutog ljeti na sjever i na europski kontinent.

Lemprika (*Viburnum tinus* L.) je zimzelen, do 3 m visok grm. Rasprostranjena je pretežno u srednjem i zapadom dijelu Sredozemlja, gdje je karakteristična vrsta crnikovih šuma i njihovih degradacijskih stadija.

Klimatski parametri imaju velik utjecaj na požare. Tako Pyne i dr. (1996), Kunkel, (2001), Viegas i dr. (2004) i Pereira i dr. (2005) ističu da vrijeme i klima imaju ključnu ulogu u determinaciji požarnog režima nekog područja, a požarni režim zauz-

vrat je vrlo blizak promjenama klime. Najznačajniji klimatski čimbenici koji se uzimaju u obzir kad su u pitanju šumski požari su temperatura i vlaga odnosno voda (oborine). Povećanje ili smanjenje sadržaja vlage u gorivu rezultat je vremenskih uvjeta (Simard 1968), a ovisi o fiziološkim i kemijskim karakteristikama goriva (Castro i dr. 2003; Aguado i dr. 2007).

Sadržaj vlage mrtvog goriva (DFMC) je prepoznat kao jedan od najkritičnijih faktora koji utječu na nastanak i širenje požara (Van Wagner 1977; Chandler i dr. 1983; Agee i dr. 2002; Pollet 2003). Da postoji velika povezanost zapaljivosti i gorivosti mediteranskih vrsta i sadržaja vlage u njima utvrdili su Cappelli i dr. (1983), Xanthopoulos i Wakimoto (1992), Dimitrakopoulos i Papaioannou (2001) i Alessio i dr. (2008).

MATERIJAL I METODE - Material and methods

Sadržaj vlage testiranih uzoraka, odnosno sadržaj vlage živog goriva (LFMC) (slika 1.) dobiven je pomoću standardizirane jednadžbe za utvrđivanje sadržaja vlage (postotno od suhe težine) metodom sušenja u sušioniku. Jednadžba glasi:

$$\text{LFMC} = ((\text{FW} - \text{DW}) / \text{DW}) * 100$$

gdje je:

LFMC – sadržaj vlage testiranog uzorka

FW – masa svježeg uzorka

DW – masa suhog uzorka

Istraživanja dnevnih promjena sadržaja vlage mrtvog goriva (DFMC) (slika 2.) obavljena su na otoku Rabu i u Makarskoj. Na Rabu su istraživanja obavljena na meteorološkoj postaji Rab, a u Makarskoj na glavnoj meteorološkoj postaji Makarska. Uzorkovanje radi utvrđivanja dnevnih promjena sadržaja vlage mrtvog goriva obavljeno je prema metodologiji koju su propisali Schroeder i Buck (1970).



Slika 1. Uzorci testiranja sadržaja vlage živog goriva (LFMC)

Figure 1. Samples of testing the live fuel moisture content (LFMC)

Slika 2. Etalonski štapići za testiranje sadržaja vlage mrtvog goriva (DFMC)

Figure 2. Samples sticks for testing the dead fuel moisture content (DFMC)



Apsolutna dnevna promjena sadržaja vlage dobivena je pomoću standardizirane jednadžbe za utvrđivanje sadržaja vlage (postotno od suhe težine) metodom sušenja u sušioniku. Jednadžba glasi:

$$M_a = ((M_d - M_s) / M_s) * 100$$

gdje je:

M_a – apsolutna dnevna promjena sadržaja vlage

M_d – dnevna masa štapića

M_s – masa apsolutno suhog štapića (apsolutna konstanta)

REZULTATI - Results

Tablica 1. Linearni korelacijski koeficijenti sadržaja vlage živog goriva (LFMC) za lempriku (*Viburnum tinus* L.) na Rabu

Table 1. Linear correlation coefficients of live fuel moisture content (LFMC) for strawberry tree (*Viburnum tinus* L.) on Rab

Variable	Correlations (Lemprika-V. tinus-LFMC); Marked correlations are significant at $p < .05000$; $N=25$					
	LFMC	Sr. mj. zraè. vlaga	Sr. mj. temp. zraka	Sr. mj. max. temp. zraka	Sr. min. mj. temp. zraka	Sr. mj. kol. oborina
LFMC	1.00	-0.08	0.07	0.06	0.05	0.14

Na Rabu LFMC lemprike (*Viburnum tinus* L.) ne pokazuje statistički značajnu korelaciju sa korištenim varijablama (tablica 1.).

Tablica 2. Linearni korelacijski koeficijenti sadržaja vlage živog goriva (LFMC) za lempriku (*Viburnum tinus* L.) u MakarskojTable 2. Linear correlation coefficients of Live fuel moisture content (LFMC) for strawberry tree (*Viburnum tinus* L.) in Makarska

Variable	Correlations (Lemprika-V. tinus-LFMC); Marked correlations are significant at $p < .05000$; N=25					
	LFMC	Sr. mj. zrač. vlaga	Sr. mj. temp. zraka	Sr. mj. max. temp. zraka	Sr. min. mj. temp. zraka	Sr. mj. kol. oborina
LFMC	1.00	0.24	-0.48	-0.48	-0.50	0.49

Statistički značajno, pozitivno i srednje jako u Makarskoj korelira LFMC lemprike (*Viburnum tinus* L.) sa srednjom mjesečnom količinom oborina. Korelacije LFMC sa srednjom mjesečnom temperaturom zraka, srednjom mjesečnom maksimalnom temperaturom zraka i srednjom mjesečnom minimalnom temperaturom zraka su statistički značajne, negativne i po karakteru srednje jake (tablica 2.).

Tablica 3. Rezultati regresijske analize za sadržaj vlage živog goriva (LFMC) kao zavisne varijable za lempriku (*Viburnum tinus* L.) na RabuTable 3. Results of regression analysis for live fuel moisture content (LFMC) as a dependent variable for the strawberry tree (*Viburnum tinus* L.) on the island of Rab

	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>	<i>R</i> ²	<i>Parc. R</i> ²	<i>Koef. Var.</i>	<i>RMSE</i>
model	5	2247.67134	449.53427	0.93	0.4864	0.1958	-0.0158	15.38784	22.0428

<i>Varijabla</i>	<i>DF</i>	<i>Proc. Param.</i>	<i>Stand. Pogr.</i>	<i>t</i>	<i>Pr > t </i>
Intercept	1	101.78333	95.43206	1.07	0.2995
Sred. mj. zrač. vlaga	1	0.01012	1.01881	0.01	0.9922
Sred. mj. temp.	1	41.09812	24.33764	1.69	0.1076
Sred. max. mj. temp	1	-10.59091	12.98983	-0.82	0.4250
Sred. min. mj. temp.	1	-31.79093	18.04011	-1.76	0.0941
Sred. mj. kol. oborina	1	0.08436	0.09390	0.90	0.3802

Sadržaj vlage živog goriva (LFMC) lemprike (*Viburnum tinus* L.) na Rabu ne pokazuje statistički značajnu ovisnost LFMC prema korištenim varijablama, što je vidljivo iz rezultata multivarijatne regresijske analize prikazanih u tablici 3. Kada govorimo o utjecaju meteoroloških čimbenika na testirano svojstvo gorivog materijala vidljivo je da F iznosi 0,93, dok je $Pr > F$ 0.4864, uz R^2 0.1958.

Tablica 4. Rezultati regresijske analize za sadržaj vlage živog goriva (LFMC) kao zavisne varijable za lempriku (*Viburnum tinus* L.) u Makarskoj

Table 4. Results of regression analysis for live fuel moisture content (LFMC) as a dependent variable for the strawberry tree (*Viburnum tinus* L.) in Makarska

	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. Var.	RMSE
model	5	5162.41066	1032.4821	3.17	0.0302	0.4546	0.3111	16.35967	18.0536

Varijabla	DF	Proc. Param.	Stand. Pogr.	t	Pr > t
Intercept	1	66.78004	62.4117	1.07	0.2980
Sred. mj. zrač. vlaga	1	0.59521	0.81785	0.73	0.4756
Sred. mj. temp.	1	36.03974	21.26787	1.69	0.1065
Sred. max. mj. temp.	1	-14.00926	14.32482	-0.98	0.3404
Sred. min. mj. temp.	1	-23.86311	10.45675	-2.28	0.0642
Sred. mj. kol. oborina	1	0.09282	0.07975	1.16	0.2589

Rezultati multivarijatne regresijske analize za sadržaj vlage živog goriva (LFMC) lemprike (*Viburnum tinus* L.) u Makarskoj su prikazani u tablici 4. Oni pokazuju da na LFMC najbliže statistički značajnom utječe srednja mjesečna minimalna temperatura zraka. Time je objašnjeno 45 % sadržaja vlage živog goriva spomenute vrste.

Tablica 5. Rezultati regresijske analize za sadržaj vlage mrtvog goriva (DFMC) kao zavisne varijable za lempriku (*Viburnum tinus* L.) na Rabu

Table 5. Results of regression analysis for dead fuel moisture content (DFMC) as a dependent variable for the strawberry tree (*Viburnum tinus* L.) on the island of Rab

	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. Var.	RMSE
Model	3	1063.88949	354.62983	19.64	<.0001	0.7281	0.6910	2.45866	4.24959

Varijabla	DF	Proc. Param.	Stand. Pogr.	t	Pr > t
Intercept	1	147.30860	12.05100	12.22	<.0001
Sred. dnev. zrač. vlaga	1	0.44333	0.16950	2.62	0.0158
Sred. dnev. temp	1	-0.43127	0.15511	-2.78	0.0109
Dnev. kol. oborina	1	1.39094	0.46795	2.97	0.0070

Rezultati multivarijatne regresijske analize za sadržaj vlage mrtvog goriva (DFMC) lemprike (*Viburnum tinus* L.) na Rabu prikazani u tablici 5. su pokazali da DFMC statistički značajno ovisi o srednjoj dnevnoj zračnoj vlazi, srednjoj dnevnoj temperaturi i dnevnoj količini oborina. Time je objašnjeno 73 % sadržaja vlage mrtvog goriva spomenute vrste.

Rezultati multivarijatne regresijske analize za sadržaj vlage mrtvog goriva (DFMC) lemprike (*Viburnum tinus* L.) u Makarskoj prikazani u tablici 6. su pokazali da DFMC statistički značajno ovisi o srednjoj dnevnoj temperaturi i dnevnoj količini oborina. Time je objašnjeno 71 % sadržaja vlage mrtvog goriva.

Tablica 6. Rezultati regresijske analize za sadržaj vlage mrtvog goriva (DFMC) kao zavisne varijable za lempriku (*Viburnum tinus* L.) u Makarskoj

Table 6. Results of regression analysis for dead fuel moisture content (DFMC) as a dependent variable for the strawberry tree (*Viburnum tinus* L.) in Makarska

	DF	SS	MS	F	Pr > F	R ²	Parc. R ²	Koef. Var.	RMSE
Model	3	1107.82685	369.27562	16.90	<.0001	0.7071	0.6653	2.69119	4.67424

Varijabla	DF	Proc. Param.	Stand. Pogr.	t	Pr > t
Intercept	1	161.07731	12.34498	13.05	<.0001
Sred. dnev. zrač. Vlaga	1	0.26311	0.19803	1.33	0.1982
Sred. dnev. Temp	1	-0.45858	0.20364	-2.25	0.0352
Dnev. kol. oborina	1	1.93848	0.74480	2.60	0.0166

RASPRAVA SA ZAKLJUČKOM

Discussion with conclusion

Poznavanje obilježja šumskih goriva jedan je od najvažnijih faktora, kad su u pitanju šumski požari. Brzina širenja šumskog požara ovisi o količini goriva, njegovim karakteristikama i klimatskim prilikama, a obrnuto je proporcijalna prema sadržaju vlage gorivog materijala. Gorivo je svaka tvar ili mješavina tvari koja se može zapaliti i gorjeti (Chandler i dr. 1983). Prema Bilandžiji (1992), šumskim se gorivom smatra cjelokupna količina biljnog materijala, mrtvog i živog koja se nalazi iznad mineralnog dijela tla.

Sadržaj vlage živog goriva (LFMC) i mrtvog goriva (DFMC) su složeni fenomeni koji se međusobno razlikuju kod pojedine vrste drveća. Sadržaj vlage, odnosno vode najbolje determinira sposobnost zapaljenja goriva, te ukoliko se ono zapali, koliko će biti učinkovito izgaranje nakon paljenja. Promjene u sadržaju vlage su povezane s atmosferskim prilikama i dostupnoj vlazi u tlu s jedne strane, te ekofizikalnim karakteristikama vrste s

druge strane (Castro i dr. 2003). Kao što je i vidljivo iz dobivenih rezultata, energija zapaljenja šumskog goriva lemprike (*Viburnum tinus* L.) je manja kod većeg sadržaja vlage. S druge strane, sadržaj vlage utječe na ponašanje vatre, jer kad je gorenje reducirano zbog vlažnosti goriva i daljnje zapaljenje je ograničeno.

Mrtvo gorivo često je presudni čimbenik u nastajanju šumskih požara. Uglavnom, požar uvijek započinje na mrtvom gorivu. Sadržaj vlage mrtvog goriva se brže i češće mijenja nego sadržaj vlage živog goriva. Kako navodi Simard (1968), otpuštanje ili prihvaćanje vlage svakako prvenstveno ovisi o fizikalnim i kemijskim karakteristikama, ali je, bez obzira na te karakteristike presudna uloga klimatskih aktivnosti (kiša, vjetar, sunčana razdoblja, kondenzacija, zračna vlaga i dr.). Stoga, bolje razumijevanje klimatskim uvjeta i vegetacijskih karakteristika u pogledu sadržaja vlage goriva te njihovog međusobnog odnosa može doprinijeti poboljšanju spoznaja o protupožarnoj problematici i identificirati kritične periode visokog rizika od šumskih požara.

Uzimajući u obzir utjecaj istraživanih meteoroloških čimbenika na sadržaj vlage živog goriva i sadržaj vlage mrtvog goriva, iz dobivenih rezultata može se zaključiti da istraživani meteorološki čimbenici, na obje istraživane lokacije, imaju utjecaj na sadržaj vlage mrtvog goriva, dok takvog utjecaja na sadržaj vlage živog goriva nije bilo.

LITERATURA

References

1. Agee, J.K., Wright, C.S., Williamson, N. & M.H. Huff. 2002: Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behaviour, *For. Ecol. Manage*, Vol 167, p. 57-66.
2. Aguado, I., Chuvieco, E., Boren, R. & H. Nieto. 2007: Estimation of dead fuel moisture content from meteorological data in Mediterranean areas. Applications in fire danger assessment. *Int. J. Wild. Fire*, Vol 16, p. 390-397.
3. Alessio, G.A., Penuelas, J., Llusia, J., Ogaya, R., Estiarte, M. & M. De lillis. 2008: Influence of water and terpenens on flammability in some dominant Mediterranean species. *Int. J. Wild. Fire*, Vol 17, p. 274-286.
4. Bilandžija, J. 1992: Prirodno opterećenje sastojina alepskog, primorskog i crnog bora šumskim gorivima. *Radovi*, Vol 27, No 2, p. 105-113.
5. Cappelli, M., Bonani, S. & I. Conci. 1983: Sul Grado d Infiammabilita di Alcune Specie Della Macchia Mediterranea. *Collana Verde*, Vol 62, p. 1-52.
6. Castro, F., Tundela, X. & M.T. Sebastia. 2003: Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia

- (Spain). *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 116, p. 49-59.
7. Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Thomas, P., Traubaud, L. & D. Williams. 1983: *Fire in Forestry*, John Wiley & Sons. Inc., Vol 1, p. 450.
 8. Dimitrakopoulos, A.P. & K.K. Papaioannou, 2001: *Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuels*. *Fire Technol.*, Vol 37, 143-152.
 9. 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, p. 303-350.
 10. Pereira, M.G., Trigo, R.M., Da Camara C.C, Pereira J.M.C. & S.M. Leite. 2005: *Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal*. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 129, 11-25.
 11. Pollet, J. 2003: *Fuel Moisture Sampling Guide*, Bureau of Land Management Utah State Office. Salt Lake City, USA.
 12. Pyne, S.J., Andrews, P.L. & R.D. Laven. 1996: *Introduction to Wildland Fire 2nd edition*, John Wiley and Sons, Inc, NY, p. 769.
 13. Schroeder, M. & C. Buck. 1970: *Fire weather : a guide for application of meteorological information to forest fire control operations*. USDA Forest Service, *Agriculture Handbook*, p. 360.
 14. Simard, A.J. 1968: *The moisture content of forest fuels – a review of the basic concepts*. Forest Fire Research Institute, FF-X-14.
 15. Van Wagner, C.E. 1977: *Conditions for the start and spread of crown fires*. *Can. J. For. Res.*, Vol 7, p. 23-34.
 16. Viegas, D.X., Reis R.M., Cruz, M.G. & M.T. Viegas. 2004: *Calibracao do Sistema Canadiano de Perigo de Incendio para Aplicacao em Portugal (Canadian Fire Weather Risk System Calibration for application in Portugal)*. *Silva Lusitana*, Vol 12, No 1, p. 77-93.
 17. Xanthopoulos, G. & R.H. Wakimoto. 1992: *A time to ignition-temperature-moisture relationship for branches of three western conifers*. *Can. J. For. Res.*, Vol 23, p. 253-258.

Primljeno: 06. prosinca 2021. godine

Received: December 06, 2021

Prihvaćeno: 29. prosinca 2021. godine

Accepted: December 29, 2021