

# Utjecaj strukture sastojina na mikroklimu šumskih ekosustava hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) i alepskoga bora (*Pinus halepensis* Mill.)

Damir Ugarković, Ivica Tikvić, Martina Šporčić, Željko Španjol, Roman Rosavec

## Nacrtak – Abstract

Na mikroklimu šumske sastojine utječe makroklima širega područja, ali i tip šumskoga ekosustava, topografija, sastav odnosno vrste šumskoga drveća, dob i struktura šumske sastojine. Mnogi ekološki i biološki procesi u šumskim ekosustavima usko su povezani s meteorološkim prilikama i stoga je nužno njihovo poznavanje. Mikroklimatska su istraživanja obavljena na otoku Mljetu. Na ukupno četiri lokacije, dvije u šumi alepskoga bora, a dvije u šumi hrasta crnike s mirtom, postavljene su mikroklimatske stanice. Sastojine su osim različitih glavnih vrsta šumskoga drveća bile i različita uzgojnoga oblika, sastava vrsta, sklopa krošanja, dobi i strukture. Mjerena je temperatura zraka na visini od 1 m, temperatura tla i volumetrijska vlaga tla na dubini od 20 cm. Srednje vrijednosti temperature zraka i temperature tla bile su najveće u šumskoj kulturi rijetkoga sklopa krošanja alepskoga bora. Srednja je vrijednost volumetrijske vlage tla bila najveća u sjemenskoj sastojini s potpunim sklopom krošanja hrasta crnike. Analiza podataka mikroklimatske šumskih ekosustava hrasta crnike i alepskoga bora služi za bolje upoznavanje ekoloških uvjeta tih šumskih ekosustava i staništa.

Ključne riječi: mikroklima, struktura sastojine, hrast crnika, alepski bor

## 1. Uvod – Introduction

U Sredozemlju su šume stoljećima bile izložene intenzivnom antropogenom utjecaju. Najčešće je riječ o nepravilnom iskorištavanju šuma, primjerice o nekontroliranoj sječi, brstu, pašarenju, odnošenju listinca, paleži i o proširenju poljodjelskih površina na račun šuma, prenamjeni šume i šumskoga zemljišta za potrebe razvoja infrastrukture, turizma, vinogradarstva, maslinarstva i slično. Takvi su dugotrajni procesi u kombinaciji s požarima, specifičnim klimatskim obilježjima i erodibilnim tlama postupno doveli do degradacije sredozemnih šumskih ekosustava (Topić i Butorac 2011, Matić i dr. 2011).

Sredozemne se šume u Hrvatskoj većinom razvijaju u eumediteranskom području koje obilježava hrast crnika (*Quercus ilex* L.) i u submediteranskom gdje prevladava hrast medunac (*Quercus pubescens*

Willd.). Hrast crnika i hrast medunac temeljne su vrste drveća klimatogenih šumskih zajednica koje su cilj progresivne sukcesije šumske vegetacije tih područja (Matić i dr. 2011). Uz njih tu rastu dvije temeljne crnogorične vrste drveća. To su alepski bor (*Pinus halepensis* Mill.) u eumediteranu i crni bor (*Pinus nigra* Arn.) u submediteranu. Borovi imaju pionirsku ulogu u progresivnoj sukcesiji šumske vegetacije.

Šumski su ekosustavi pod utjecajem brojnih lokalnih meteoroloških i klimatoloških prilika. Ekofiziološki procesi, kao što su fotosinteza, evapotranspiracija, respiracija, dekompozicija ili razgradnja organske tvari i ostali, usko su povezani s meteorološkim prilikama.

Meteorološki stresni čimbenici, npr. suša, visoka i niska temperatura, hladnoća i još neki drugi, mogu uzrokovati oštećenja u šumskom ekosustavu (Bréda i dr. 2006, Deshayes i dr. 2006). Za proučavanje tih procesa

i otkrivanje mogućih uzroka potrebni su točni podaci o šumskoj klimi (Xia i dr. 2001). Zbog toga je važno poznavanje šumske klime, odnosno mikroklimе. Neki autori upozoravaju na pozitivan utjecaj stabala na mikroklimu, fizikalna obilježja tla i dinamiku vode u tlu (Moreno i dr. 2007).

Pozitivna uloga korijenja stabala na fizikalna obilježja tla uključuju povećanje kapaciteta tla za vodu i veći udio makropora koje su povoljne za infiltraciju i redistribuciju vode u tlu u prostoru ispod nego izvan sklopa krošanja stabala (Joffre i Rambal 1988, Puerto i Rico 1989). U Hrvatskoj o šumskoj mikroklimi šumskih ekosustava hrasta crnike ima relativno malo znanstvenih istraživanja i spoznaja (Ilijanić i Gračanin 1972, Gračanin i Ilijanić 1977, Prpić 1986, Oršanić i dr. 2011). Ekološki problem vegetacije mediteranskoga krša jest nedostatak vode za vrijeme ljetnih mjeseci. Ljetno razdoblje bez oborina ili s vrlo malo kiše popraćeno je visokom temperaturom zraka, tla i geološke podloge, te čestim vjetrovima manjega intenziteta, što izaziva povećanu evapotranspiraciju i ekološku sušu (Prpić 1986). Vodnim režimom sredozemnih biljaka, a među njima i šumskim drvećem bavilo se više istraživača (Ilijanić i Gračanin 1972, Gračanin i Ilijanić 1977, Prpić 1986). Hrast crnika pokazao se više osjetljivim na sušu u usporedbi s drugim konkurentnim drvenastim vrstama (Ogaya i dr. 2003). U gustim neprorijeđenim šumama periodično odumiranje hrasta crnike bilo je zabilježeno za vrijeme jakih suša (Penuelas i dr. 2001).

Borove šume eumediteranskoga područja, osim njegova južnoga dijela, uglavnom su antropogenoga podrijetla. Nastale su sadnjom sadnica na degradiranom kršu. Poslije su se te sastojine, a ponajviše sastojine alepskoga bora, prirodno proširile na okolne neobrasle šumske terene te prostore napuštenih vinograda i maslinika.

Alepski je bor pionirska vrsta drveća koja se naselila umjetno ili prirodno na degradirana staništa hrasta crnike.

Cilj je ovoga istraživanja bio utvrditi razlike u vrijednostima temperature zraka (°C), temperature tla (°C) i volumetrijske vlage tla (%) u dvjema različitim šumskim zajednicama i četirima šumskim sastojinama različitih strukturnih obilježja. Analizom podataka mikroklimе cilj je bio bolje upoznati ekološke uvjete šumskih staništa.

## 2. Materijal i metode rada – *Material and methods*

Istraživanje je obavljeno u Nacionalnom parku Mljet na otoku Mljetu. Površina Nacionalnoga parka Ml-

jeta iznosi 5480 ha i nalazi se na sjeverozapadnom dijelu otoka. Geološku podlogu čine karbonatne i silikatne stijene te razni njihovi oblici. Od karbonatnih stijena najprošireniji su vapnenci, a od tipova tala kalkokambisoli i litosoli, a manjim dijelom i rendzina na vapnencu i dolomitu (Pernar i dr. 2011). Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 16,4 °C, a srednja godišnja količina oborine 770 mm (Seletković i dr. 2011).

Mikroklimatska istraživanja obavljena su od svibnja do rujna 2013. godine. Na ukupno četiri lokacije, dvije u šumi alepskoga bora, a dvije u šumi hrasta crnike s mirtom, postavljene su mikroklimatske stanice. Mjerenja su obavljena u intervalu od jednoga sata mikroklimatskom stanicom »Spectrum« (N = 3498). Mjerena je temperatura zraka (°C) na visini od 1 m, temperatura tla (°C) i volumetrijska vlaga tla (%) na dubini od 20 cm. Istraživanjem su obuhvaćene četiri pokusne plohe različitih glavnih vrsta šumskoga drveća i različitih strukturnih obilježja odnosno uzgojnoga oblika, dobi i sklopa krošanja (tablica 1). Pokusne plohe bile su dimenzija 50 × 50 m i istih reljefnih uvjeta (ekspozicija, nagib, nadmorska visina) tipa šumskoga tla.

U tablici 1 prikazana su stanišna i sastojinska obilježja pokusnih ploha na području istraživanja. Sastojine su imale slične reljefne i pedološke uvjete te stjenovitost terena. Pokusna ploha PP 1 bila je u šumskoj kulturi alepskoga bora s rijetkim sklopom krošanja. Pokusna ploha PP 2 bila je u prirodnoj sastojini alepskoga bora s potpunim sklopom krošanja. Pokusna ploha PP 3 bila je u mješovitoj sastojini hrasta crnike niskoga uzgojnoga oblika s potpunim sklopom krošanja, a pokusna ploha PP 4 bila je smještena u čistoj sastojini hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika s potpunim sklopom krošanja.

Prikupljeni podaci o prsnom promjeru i visini na pokusnim plohama poslužili su za izračunavanje glavnih strukturnih elemenata: (N) broj stabala ili gustoća sastojine, (G) temeljnica i (V) volumen, za svaku pokusnu plohu, po vrstama drveća, debljinskim razredima i etažama te ukupno. Taksacijska je granica bila 2 cm. Kako za zeleniku (*Phillyrea angustifolia* L.), lempriku (*Viburnum tinus* L.), običnu planiku (*Arbutus unedo* L.), veliki vrijes (*Erica arborea* L.) i šmriku (*Juniperus oxycedrus* L.) nisu utvrđeni parametri Schumacher-Hallove funkcije, prilikom obračuna za navedene vrste primijenjeni su parametri hrasta crnike (*Quercus ilex* L.).

Analiza podataka (deskriptivna statistika, linearna korelacija, ANOVA) obrađena je u programima SpecWare 8.0 i Statistica 7.1 (StatSoft, Inc., 2003).

**Tablica 1.** Stanišna i sastojinska obilježja pokusnih ploha

**Table 1** Habitat and stand characteristics of experimental plots

Obilježja – Characteristics	Pokusne plohe – Experimental plots			
	PP 1	PP 2	PP 3	PP 4
Površina, ha – Area, ha	0,25	0,25	0,25	0,25
Fitocenoza* – Phytocoenosis*	Ph – Qi	Ph – Qi	Qi – Mc	Qi – Mc
Uzgojni oblik – Silvicultural form	Kultura <i>Forest cultures</i>	Sjemenjača <i>High forest stand</i>	Panjača <i>Coppice</i>	Sjemenjača <i>High forest stand</i>
Nadm. visina, m – Altitude, m	100	110	115	110
Nagib, % – Slope, %	10	9	11	11
Ekspozicija – Exposition	Zapad-jugozapad – West-southwest			
Tip tla – Soil type	Kalkokambisol na vapnencu – Calcocambisol on limestone			
Stjenovitost, % – Rockiness, %	60	50	50	50
Sklop krošanja – Canopy stand	Rijedak – Sparse	Potpun – Dense	Potpun – Dense	Potpun – Dense
Dob, godine – Age, years	35	55	45	70
Visina sastojine, m – Stand height, m	18	17	15	17
Broj stabala, N/ha – Number of trees, N/ha	700	888	1550	1626
Temeljnica, m <sup>2</sup> /ha – Basal area, m <sup>2</sup> /ha	22,24	28,66	22,46	42,37
Drvni volumen, m <sup>3</sup> /ha – Wood volume, m <sup>3</sup> /ha	131,12	184,38	119,02	230,7
Sastav vrsta, % ** – Tree species composition, % **				
<i>Arbutus unedo</i>	0,30	–	5,25	–
<i>Quercus ilex</i>	1,50	1,50	57,85	99,39
<i>Phillyrea angustifolia</i>	0,20	0,34	4,91	0,46
<i>Pinus halepensis</i>	98,0	98,0	30,0	–
<i>Pistacia terebinthus</i>	–	0,16	–	–
<i>Viburnum tinus</i>	–	–	1,99	0,15

\* Ph-Qi – Alepski bor i hrast crnika – Aleppo pine and holm oak

Qi-Mc – Hrast crnika s mirtom – Holm oak with myrtle

\*\* Sastav vrsta je iskazan u (%) prema ukupnom drvnom volumenu sastojine – Tree species composition (%) according to total wood volume of stand

### 3. Rezultati istraživanja – Results

Prema podacima prikazanima u tablici 2 najveće amplitude temperature zraka i temperature tla bile su u sastojinama alepskoga bora. Najveća je amplituda volumetrijske vlage tla bila u sastojini hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika, sjemenjači (13,7 %). Najmanje amplitude temperature zraka i temperature tla bile su u sastojini hrasta crnike niskoga uzgojnoga oblika (panjača). Najviše vrijednosti temperature zraka (38,5 °C) i tla (27,6 °C) izmjerene su u kulturi alepskoga bora. Najviša vrijednost volumetrijske vlage tla u iznosu od 23,0 % izmjerena je u šumi hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika (sjemenjača). Najmanja volumetrijska vlaga tla u iznosu od 0 % izmjerena je u kulturi alepskoga bora (tablica 2).

Slika 1 prikazuje srednje vrijednosti temperature zraka po mjesecima. Srednja temperatura zraka na svim četirima pokusnim plohama kretala se jednako, do kolovoza je rasla, a zatim je padala. Najviša temperatura izmjerena je na PP 1, u šumi alepskoga bora s rijetkim sklopom, a najniža se temperatura pojavljuje u šumi hrasta crnike niskoga i visokoga uzgojnoga oblika (PP 3 i PP 4).

Usporede li se sastojine alepskoga bora gustoga i rijetkoga sklopa, može se uočiti kako su vrijednosti u sastojini rijetkoga sklopa mnogo veće. Vrijednosti temperature tla u sastojinama hrasta crnike visokoga i niskoga uzgojnoga oblika manje se razlikuju (slika 2).

Srednje vrijednosti volumetrijske vlage tla bile su veće u sastojinama hrasta crnike s mirtom u odnosu

**Tablica 2.** Deskriptivna statistika klimatskih elemenata

**Table 2** Descriptive statistics of climate elements

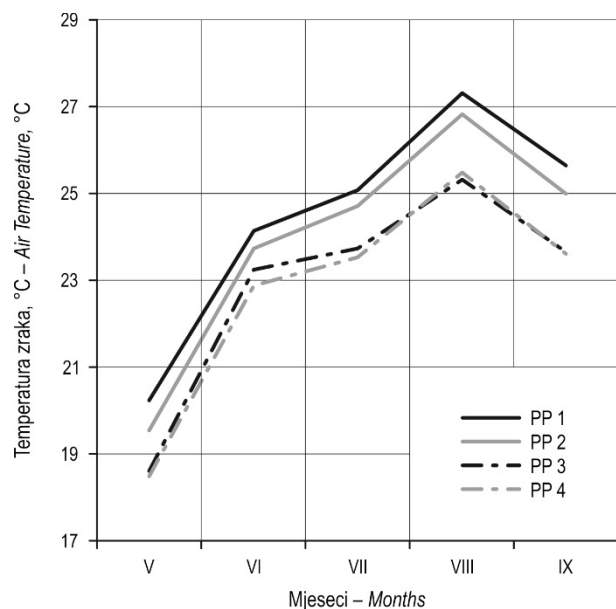
Pokusne plohe <i>Experimental plots</i>	Klimatski elementi* <i>Climate elements*</i>	Statističke varijable – <i>Variables</i>		
		Kolebanje <i>Variation</i>	Min.	Max.
PP 1	$T_z$	28,6	9,9	38,5
	$T_t$	12,8	14,8	27,6
	WVC	9,5	0,0	9,5
PP 2	$T_z$	29,5	9,3	38,8
	$T_t$	10,2	14,1	24,3
	WVC	11,7	2,3	14,0
PP 3	$T_z$	23,4	10,9	34,3
	$T_t$	8,4	13,5	21,9
	WVC	11,2	8,9	20,1
PP 4	$T_z$	23,7	10,5	34,2
	$T_t$	9,3	12,6	21,9
	WVC	13,7	9,3	23,0

\*  $T_z$  – Temperatura zraka, °C – *Air temperature, °C*

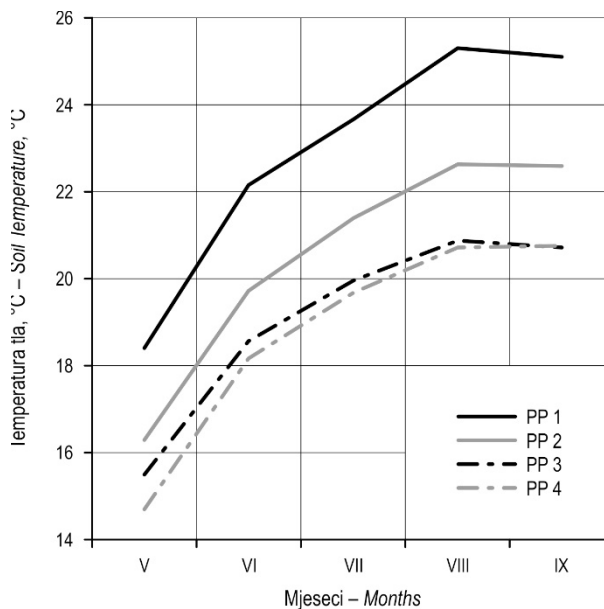
$T_t$  – Temperatura tla, °C – *Soil temperature, °C*

WVC – Volumetrijska vlaga tla, % – *Volumetric water content, %*

na sastojine alepskoga bora. Srednje mjesečne vrijednosti volumetrijske vlage tla u kulturi alepskoga bora bile su u rasponu od 6,5 % do 0,4 %, a u sjenjači



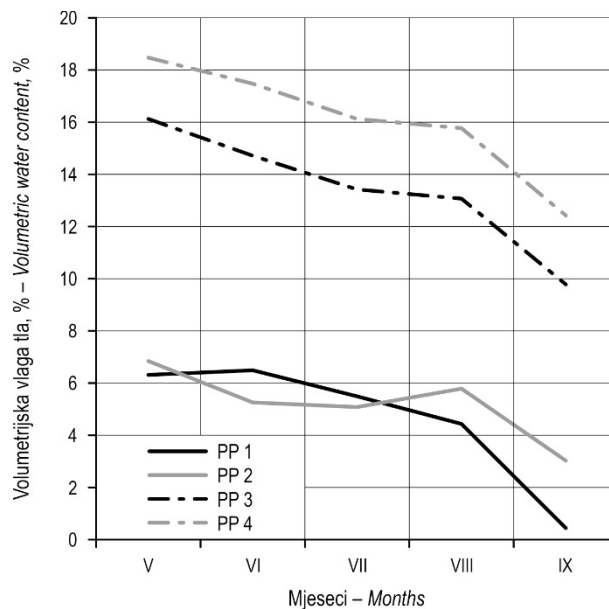
**Slika 1.** Srednje vrijednosti temperature zraka (°C) po mjesecima  
**Fig. 1** Average air temperatures (°C) by months



**Slika 2.** Srednje vrijednosti temperature tla (°C) po mjesecima  
**Fig. 2** Average soil temperatures (°C) by months

alepskoga bora od 6,8 % do 3,0 %. U panjači hrasta crnike srednje mjesečne vrijednosti volumetrijske vlage tla bile su u rasponu do 16,1 % do 9,8 %, a u sjenjači su se kretale u rasponu do 18,5 % do 12,4 % (slika 3).

U tablici 3 prikazana je usporedba srednjih vrijednosti klimatskih elemenata. Najveća srednja vrijednost



**Slika 3.** Srednje vrijednosti volumetrijske vlage tla (%) po mjesecima  
**Fig. 3** Average volumetric water content (%) by months

**Tablica 3.** Usporedba srednjih vrijednosti klimatskih elemenata

**Table 3** Climate elements in different experimental plots (LSMean ± SD)

Klimatski elementi – Climate elements	Pokusne plohe – Experimental plots			
	PP 1	PP 2	PP 3	PP 4
	Prosjek ± Std. dev. – LSMean ± SD			
Temperatura zraka, °C – Air temperature, °C	24,6 ± 4,4a	24,1 ± 4,6b	23,0 ± 3,9c	22,9 ± 3,9c
Temperatura tla, °C – Soil temperature, °C	23,0 ± 2,7a	20,6 ± 2,5b	19,2 ± 2,0c	18,9 ± 2,3d
Volumetrijska vlaga tla, % – Volumetric water content, %	4,7 ± 2,3a	5,2 ± 1,7b	13,4 ± 2,4c	16,1 ± 2,1d

<sup>a,b,c,d</sup> Vrijednosti unutar reda označene različitim slovom značajno se razlikuju ( $p < 0,05$ )

<sup>a,b,c,d</sup> Values within row marked with different letters differ significantly ( $p < 0.05$ )

temperature zraka u iznosu od 24,6 °C izmjerena je u kulturi alepskoga bora, a najmanja srednja vrijednost 22,9 °C u sjemenjači hrasta crnike. Nisu utvrđene statistički značajne razlike u srednjim vrijednostima temperature zraka između panjače i sjemenjače hrasta crnike s mirtom. Najveća je prosječna vrijednost temperature tla izmjerena u kulturi alepskoga bora (23,0 °C), a volumetrijske vlage tla u sjemenjači hrasta crnike s mirtom (16,1 %). Utvrđene su statistički značajne raz-

like u vrijednostima temperature tla i volumetrijske vlage tla u svim istraživanim sastojinama. Nisu utvrđene statistički značajne razlike u prosječnim vrijednostima temperature zraka između sastojine hrasta crnike različite dobi uzgojnoga oblika (tablica 3).

Korelacije temperature zraka i temperature tla bile su pozitivne, a korelacije temperature zraka i temperature tla u odnosu na volumetrijsku vlagu tla bile su negativne. Korelacije temperature zraka i tla te temperature tla i volumetrijske vlage tla prema jačini bile su jake, dok su korelacije temperature zraka i volumetrijske vlage tla bile slabe. Najveće korelacije klimatskih elemenata utvrđene su u sastojini sjemenjači hrasta crnike s mirtom (tablica 4).

**Tablica 4.** Korelacijski koeficijenti klimatskih elemenata prema pokusnim ploham

**Table 4** Correlation coefficients of climate elements according to experimental plots

Ploha PP 1 – Plot PP 1	$T_z$	$T_t$	WVC
$T_z$	1,00	–	–
$T_t$	0,61*	1,00	–
WVC	–0,26*	–0,56*	1,00
Ploha PP 2 – Plot PP 2	$T_z$	$T_t$	WVC
$T_z$	1,00	–	–
$T_t$	0,58*	1,00	–
WVC	–0,33*	–0,55*	1,00
Ploha PP 3 – Plot PP 3	$T_z$	$T_t$	WVC
$T_z$	1,00	–	–
$T_t$	0,64*	1,00	–
WVC	–0,38*	–0,68*	1,00
Ploha PP 4 – Plot PP 4	$T_z$	$T_t$	WVC
$T_z$	1,00	–	–
$T_t$	0,66*	1,00	–
WVC	–0,37*	–0,72*	1,00

$T_z$  – Temperatura zraka – Air temperature

$T_t$  – Temperatura tla – Soil temperature

WVC – Volumetrijska vlaga tla – Volumetric water content

\* Signifikantno na razini  $p < 0,05$  – Significant at  $p < 0.05$

#### 4. Rasprava – Discussion

Šumsko drveće i sastojine imaju značajan utjecaj na lokalnu klimu. Uz to šuma ima i svoju, određenu mikroklimu. Šumska mikroklima ovisi o makroklimi širega područja, ali i o sastavu odnosno vrstama šumskoga drveća te stanju šumske sastojine. Sječom šumskoga drveća u sastojini mijenjamo i mikroklimatske uvjete (Aussenac 2000). Isto tako nepravilnim i nekontroliranim sječama sastojina sjemenjača i njihovim prevođenjem u sastojine panjača također mijenjamo mikroklimatske uvjete određene sastojine. Zbog nekontroliranih sječa i prevođenjem sastojina u niže uzgojne oblike mikroklimatski uvjeti u tim sastojinama postaju nepovoljniji.

U šumskoj kulturi alepskoga bora s rijetkim sklopom krošanja izmjerili smo najveće srednje vrijednosti temperature zraka i tla, te najmanju vlagu tla u odnosu na prirodnu sastojinu alepskoga bora potpunoga sklopa krošanja. Sastojine rijetkoga sklopa krošanja imaju i manji indeks lisne površine u odnosu na sastojine potpunoga sklopa krošanja (Aussenac 2000) te u njih dolazi veća količina Sunčeva zračenja.

U sastojinama alepskoga bora izmjerili smo veću temperaturu zraka i tla te manju vlagu tla u odnosu na sastojine hrasta crnike. Alepski bor kao vrsta šumskoga drveća ima rijetku krošnju (Prpić i dr. 2011) te ima i manji indeks lisne površine u odnosu na hrast crniku.

U sastojine s rijetkim sklopom krošanja, sa šumskim drvećem koje ima rijetku krošnju i manjim indeksom lisne površine, dolazi više Sunčeva zračenja, pa je i veća temperatura zraka unutar sastojine, a analogno tomu i veća temperatura tla te manja vlaga tla. Prema istraživanjima Joffre i Rambal (1993) vlaga je tla uvijek veća ispod u odnosu na područje izvan sklopa krošanja stabala. Sklop krošanja stabala ublažava utjecaj Sunčeva zračenja odnosno topline pa s time i temperaturne razlike između rijetkoga i potpunoga sklopa krošanja. Kao što je i dobiveno korelacijskim analizama u tablici 4, temperatura je tla ovisna o temperaturi zraka. Zbog značajne razlike u temperaturi zraka između sastojina alepskoga bora s rijetkim i potpunim sklopom krošanja, odnosno šumske kulture i prirodne sastojine, utvrđene su i značajne razlike u temperaturi tla. Najmanja temperatura zraka i najmanja temperatura tla imaju niže vrijednosti u sastojinama hrasta crnike u odnosu na sastojine alepskoga bora.

Promjene temperature zraka u vanjskoj atmosferi oko šume utječu i na šumsku mikroklimu. One se najjače odražavaju neposredno na površini samih krošanja, gdje i najmanje povećanje temperature vanjske atmosfere dolazi najjače do izražaja (Ugarković i dr. 2012). Zbog toga su stanje sklopa krošanja i osutost krošanja stabala vrlo važni za sastojinsku mikroklimu.

Veća temperatura tla u panjači hrasta crnike utječe je i na manju vlagu tla u panjači u odnosu na sastojinu visokoga uzgojnoga oblika (sjemenjača). Vlaga je tla u šumama alepskoga bora manja jer je, kao što se već pokazalo pomoću korelacijske analize klimatskih elemenata, temperatura zraka i tla u negativnoj korelaciji s vlagom tla (tablica 4).

Najveće apsolutno kolebanje temperature zraka i tla bilo je u sastojinama alepskoga bora, a najmanje u mješovitoj sastojini hrasta crnike niskoga uzgojnoga oblika. S obzirom na to da rijetke krošnje alepskoga bora propuštaju više Sunčeva zračenja u sastojinu, temperaturni su uvjeti više pod utjecajem kolebanja lokalne klime i makroklimе. Mješovita sastojina hrasta crnike s potpunim sklopom ublažava temperaturna kolebanja u samoj sastojini.

Najveće apsolutno kolebanje vlage tla bilo je u čistoj sastojini hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika, a najmanje u kulturi alepskoga bora. Hrast crnika s obzirom na zahtjeve prema vodi manji je kserofit od alepskoga bora (Prpić i dr. 2011). To znači da mu je potrebna veća

količina raspoložive vode odnosno vlage u tlu, pa je zato i apsolutno kolebanje vlage u tlu bilo veće.

Uz temperaturu zraka koja ovisi o oblačnosti i insolaciji zraka, oborina ima najveće značenje za razvoj vegetacije jer je ona glavni izvor vlage u tlu. Manjak oborine, uz pojavu visoke temperature zraka, slabi otpornu snagu šumskoga drveća jer se pojačanom transpiracijom troši velika količina vode.

Prema Prpiću (1986) hrast crnika je kserofit, ali u usporedbi s alepskim borom hrast crnika je manji kserofit. Mikroklimatski su uvjeti u šumskim ekosustavima alepskoga bora nepovoljniji za rast i razvoj vegetacije u odnosu na mikroklimatske uvjete u sastojinama hrasta crnike. U šumama alepskoga bora temperatura je zraka veća, a volumetrijska vlaga tla manja u odnosu na mikroklimu sastojina hrasta crnike. Prema istraživanjima Ogaya i dr. (2003) suša je povećala odumiranje stabala hrasta crnike u sastojinama niskoga uzgojnoga oblika, vjerojatno zbog toga jer su to ograničavajući uvjeti za razvoj hrasta crnike.

Terestričke biljke opskrbljuju se vodom uglavnom samo korijenskim sustavom, a u manjoj se mjeri koriste izravno i vodom atmosfere (Gračanin i Ilijanić 1977). Prema rezultatima Oršanića i dr. (2011) vlaga je tla statistički značajno uvjetovana temperaturom zraka, točkom rosišta i količinom oborine. Prema našim rezultatima na vlagu tla značajno su utjecale temperatura zraka i temperatura tla. Povećanjem temperature zraka i temperature tla značajno se smanjivala vlaga tla u svim istraživanim sastojinama.

U današnjim uvjetima promjene makroklimе događaju se i promjene mikroklimе, tj. mikroklimatskih uvjeta. Prema istraživanjima Sardansa i Penelasa (2004) u bliskoj budućnosti za sredozemne šumske ekosustave treba očekivati duža i češća razdoblja suše.

Očekuje se da će se u Sredozemlju do kraja 21. stoljeća smanjiti količina oborine zbog klimatskih promjena (Limousin i dr. 2008), što će svakako imati velik utjecaj na negativnu vodnu bilancu u tlu tijekom ljetnih mjeseci.

Proreda je dio njege koji traje najduže, a kojom se, nažalost, u sredozemnim šumama dosad nije posvećivala velika pozornost. Ona je značajna zbog toga što omogućuje formiranje ne samo bolje, stabilnije i produktivnije sastojine (Matić i dr. 1997) već i bolji vodni status šumskoga drveća (Moreno i Cubera 2008), izbjegavanje jake unutarvršne konkurencije i povećanje otpornosti stabala na sušni stres (Gracia i dr. 1999), ali i bolju vodnu bilancu šumskoga tla. Na transpiraciju djeluju temperatura vode ili tijela iz kojega vodena para odlazi, temperatura zraka, vlažnost

zraka i brzina vjetra. Ona se ubrzava ako se poveća temperatura, pojača vjetar i smanji relativna vlažnost zraka. Utjecaji temperature, relativne vlažnosti i brzine vjetra na isparavanje vode s tla i biljaka (evapotranspiraciju) imaju odnos 80 : 6 : 14 (Penzar i Penzar 2000).

Analiza podataka mikroklimatike šumskih ekosustava hrasta crnike služi za bolje upoznavanje ekoloških uvjeta šumskih staništa. Daljnja je praktična primjena rezultata mjerenja u proučavanju šumske klime i njezina utjecaja na razne vrste drveća. U budućim istraživanjima povezivanje mikroklimatskih čimbenika s brojnim morfološko-biološkim obilježjima hrasta crnike (fenologija, klijavost, visinski rast, mortalitet, korijenski sustav) omogućit će bolje razumijevanje funkcioniranja tih složenih šumskih ekosustava.

## 5. Zaključci – Conclusions

Struktura šumske sastojine utječe na vrijednosti analiziranih mikroklimatskih elemenata. Kod alepskoga bora struktura je utjecala na vrijednosti temperature zraka, tla i vlage tla, a kod hrasta crnike struktura sastojine utjecala je na vrijednosti temperature tla i vlage tla. Šumski ekosustav s obzirom na glavnu vrstu šumskoga drveća također utječe na vrijednosti mikroklimatskih elemenata. Prosječne vrijednosti temperature zraka i tla bile su najveće u kulturi alepskoga bora, dok je prosječna vrijednost volumetrijske vlage tla bila najveća u sastojini s gustim sklopom krošanja u šumi hrasta crnike visokoga uzgojnoga oblika. Najveće apsolutno kolebanje temperature zraka i temperature tla bilo je u sastojinama alepskoga bora, a najmanje u mješovitoj sastojini hrsta crnike niskoga uzgojnoga oblika. Najveće apsolutno kolebanje vlage tla bilo je u čistoj sastojini hrsta crnike visokoga uzgojnoga oblika, a najmanje u kulturi alepskoga bora. Povećanjem temperature zraka statistički se značajno povećava temperatura tla, a smanjuje vrijednost volumetrijske vlage tla.

Korelacije su između vrijednosti temperature zraka i tla te između temperature tla i volumetrijske vlage tla jake, dok su korelacije između temperature zraka i volumetrijske vlage tla slabe. Prema jakosti jače korelacije između mikroklimatskih elemenata utvrđene su u sastojinama hrasta crnike u odnosu na sastojine alepskoga bora.

## 6. Literatura – References

Aussenac, G., 2000: Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annales of Forest Science*, 57(3): 287–301.

Bréda, N., R. Huc, A. Granier, E. Dreyer, 2006: Temperate forest tree and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63(6): 625–644.

Deshayes M., D. Guyon, H. Jeanjean, N. Stach, A. Jolly, O. Hagolle, 2006: The contribution of remote sensing to the assessment of drought effects in forest ecosystems. *Annals of Forest Science*, 63(6): 579–595.

Gracia, C. A., S. Sabaté, J. M. Martínez, E. Albeza, 1999: Functional responses to thinning. In: *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests Ecological Studies* (ed. F. Rodá, J. Retana, C. A. Gracia, J. Bellot), Springer, Berlin, 329–338.

Gračanin, M., Lj. Ilijanić, 1977: Uvod u ekologiju bilja (Introduction to plant ecology). Školska knjiga, Zagreb, 289 str.

Ilijanić, Lj., M. Gračanin, 1972: Zum Wasserhaushalt einiger mediterraner Pflanzen (Water balance of some Mediterranean plants). *Deutsche Botanische Gesellschaft*, 329–339.

Joffre, R., S. Rambal, 1988: Soil water improvement by trees in the range-lands of southern Spain. *Oecologia plantarum*, 9: 405–422.

Joffre, R., S. Rambal, 1993: How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology*, 74(2): 570–582.

Limousin, J. M., S. Rambal, J-M., Ourcival, R. Joffre, 2008: Modelling rainfall interception in a mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: Lesson from a throughfall exclusion experiment. *Journal of Hydrology*, 357(1): 57–66.

Matić, S., I. Anić, M. Oršanić, S. Mikac, 2011: Njega i obnova šuma hrvatskog Sredozemlja (Tending and regeneration of forests in the Croatian Mediterranean region). U: *Šume hrvatskoga Sredozemlja* (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 375–386.

Matić S., I. Anić, M. Oršanić, 1997: Podizanje, njega i obnova šuma kao temeljni preduvjeti ekološkog, društvenog i gospodarskog napretka mediterana (Afforestation, tending and regeneration as the basic prerequisites for an ecological, social and economic development of the mediterranean). *Šumarski list*, 121(9–10): 463–472.

Moreno, G., E. Cubera, 2008: Impact of stand density on water status and leaf gas exchange in *Quercus ilex*. *Forest Ecology and Management*, 254(1): 74–84.

Moreno, G., J. J. Obrador, E. García, E. Cubera, M.J. Montero, F. J. Pulido, C. Dupraz, 2007: Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas with management practices. *Agroforestry System*, 70(1): 25–40.

Ogaya, R., J. Penuelas, J. Martínez-Vilata, M. Mangirón, 2003: Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia* and *Arbutus unedo* in a Holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management*, 180(1): 175–184.

Oršanić, M., D. Drvodelić, D. Ugarković, 2011: Ekološko-biološke značajke hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) na otoku Rabu (Ecological and biological properties of holm oak /

*Quercus ilex* L./ on the Island Rab). Croatian Journal of Forest Engineering, 32(1): 31–42.

Penuelas, J., F. Lloret, R. Montoya, 2001: Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. Forest Science, 47(2): 214–218.

Penzar, I., B. Penzar, 2000: Agrometeorologija (Agrometeorology). Školska knjiga, Zagreb, 222 str.

Pernar N., B. Vrbek, D. Bakšić, 2011: Tlo (Soil). U: Šume hrvatskoga Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 130–138.

Prpić, B., 1986: Odnos hrasta crnike i nekih njegovih pratilica prema vodi i svjetlu (Relation of holm oak and some of companion species to water and light). Glasnik za šumske pokuse, Posebno izdanje, 2: 69–77.

Prpić B., I. Tikvić, M. Idžojtić, Z. Seletković, 2011: Ekološka konstitucija značajnijih vrsta drveća i grmlja (Ecological constitution of significant tree and shrub species). U: Šume hrvatskoga Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 245–269.

Puerto, A., M. Rico, 1989: Influence of tree canopy (*Quercus rotundifolia* Lam.) on content in surface soil water in Mediterranean grasslands. Ecology (CSSR), 8(3): 225–238.

Sardans, J., J. Penuelas, 2004: Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. Forest. Soil Biology and Biochemistry, 37(3): 455–461.

Seletković Z., I. Tikvić, M. Vučetić, D. Ugarković, 2011: Klimatska obilježja i vegetacija sredozemne Hrvatske (Climatic features and the vegetation of Mediterranean Croatia). U: Šume hrvatskog Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 142–156.

StatSoft, Inc. (2003). STATISTICA for Windows. Tulsa: StatSoft, Inc.

Topić V., L. Butorac, 2011: Protuerozijska, hidrološka i vodozaštitna uloga sredozemnih šuma (Anti-erosion, hydrological and water-protection role of Mediterranean forests). U: Šume hrvatskoga Sredozemlja (ur. S. Matić), Akademija šumarskih znanosti i Hrvatske šume, Zagreb, 307–325.

Ugarković, D., Z. Seletković, B. Smaržija, 2012: Mikroklima šumskih zajednica obične jele (*Abies alba* Mill.) na području Gorskog kotara (Microclimate of silver fir (*Abies alba* Mill.) forest associations in the area of Gorski Kotar). Radovi (Hrvatski šumarski institut), 45(1): 39–48.

Xia, Y., P. Fabian, M. Winterhalter, M. Zhao, 2001: Forest climatology: estimation and use of daily climatological data for Bavaria, Germany. Agricultural and Forest Meteorology, 106: 87–103.

---

## Abstract

---

### *Effect of Stand Structure on Microclimate of Holm Oak (*Quercus ilex* L.) and Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) Forest Ecosystems*

Forest stand microclimate is affected by macroclimate of the surrounding area, but also by soil type of forest ecosystems, topography, tree species composition, age and structure of forest stand. Numerous ecological and biological processes in forest ecosystems are tightly connected with meteorological conditions and, therefore, it is necessary to know them. Microclimate researches were made in the area of the Island of Mljet. Microclimate stations were established at four locations, two in Aleppo pine forest, and two in Holm oak with myrtle forest. Apart from different main forest tree species, stands had different silvicultural form, tree species composition, stand canopy, age and structure. Air temperature (°C) was measured at one meter above the ground, and soil temperature (°C) and soil volumetric water content VWC (%) were measured at a depth of 20 cm. Average air and soil temperatures were the highest in the stand with sparse canopy stand in Aleppo pine forest. Average soil volumetric water content was the highest in the high forest stand with dense canopy of Holm oak. Analysis of microclimate in Holm oak and Aleppo pine forest ecosystems is used to better understand ecological conditions in these forest ecosystems and habitats.

*Keywords: microclimate, stand structure, Holm oak, Aleppo pine*



---

Adrese autorâ – *Authors' addresses:*

Doc. dr. sc. Damir Ugarković \*  
e-pošta: damir.ugarkovic@gs.htnet.hr  
Prof. dr. sc. Ivica Tikvić  
e-pošta: ivica.tikvic@zg.htnet.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Svetošimunska cesta 25  
10000 Zagreb  
HRVATSKA

Martina Šporčić, mag. ing. silv.  
e-pošta: martina.sporcic01@gmail.com  
Vinogradarski put 72c  
30370 Dugo Selo  
HRVATSKA

Prof. dr. sc. Željko Španjol  
e-pošta: spanjol@sumfak.hr  
Doc. dr. sc. Roman Rosavec  
e-pošta: rosavec@sumfak.hr  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Svetošimunska cesta 25  
10000 Zagreb  
HRVATSKA

Primljeno (*Received*): 14. 7. 2017.  
Prihvaćeno (*Accepted*): 30. 8. 2017.

\* Glavni autor – *Corresponding author*