

# KOLIČINE GORIVA I ZALIHE UGLJIKA U ŠUMSKOJ PROSTIRCI SASTOJINA ALEPSKOG BORA NA OTOKU MLJETU

## FOREST FLOOR FUEL LOADS AND CARBON STOCKS IN ALEPPO PINE FORESTS ON ISLAND OF MLJET

Nera BAKŠIĆ, Darko BAKŠIĆ

### Sažetak

Sa stajališta šumskih požara, šumska prostirka se promatra kao potencijalno gorivo, no njena uloga i značaj u izmjeni tvari i energije, a poglavito ugljika u kontekstu aktualnih globalnih klimatskih promjena su veliki. Zbog toga se informacije o šumskoj prostirci tradicionalno koriste u modelima za procjenu opasnosti od šumskih požara te modelima za predikciju ponašanja i širenja šumskih požara, a u novije vrijeme i za procjenu emisija ugljika i drugih plinova te kvantificiranje zaliha ugljika. Glavni ciljevi ovog rada su: određivanje debljine, gustoće i količine pothorizonta šumske prostirke uz pripadajuće zalihe ugljika u sastojinama alepskog bora te izrada regresijskih modela debljine i količine šumske prostirke te debljine i zalihe ugljika, po pothorizontima i ukupno. Uzorkovanje šumske prostirke obavljeno je na području NP Mljet, u sastojinama alepskog bora, po debljinskim razredima: 0–50 cm, 100–150 cm i 200–250 cm opsega. Uzorkovanje je obavljeno po pothorizontima, a količine i udio organskog ugljika određene su za svaki pothorizont zasebno. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da sastojine alepskog bora vežu značajne količine ugljika u svojoj prostirci, no uvjeti i zakonitosti nisu još dovoljno proučeni. U prilog tomu govore značajno veće debljine i količine šumske prostirke u sastojinama alepskog bora od onih do sada poznatih, pa je tako ispod stabala opsega 200–250 cm utvrđena srednja debljina prostirke od 9,0 cm i procijenjena količina od 94,3 Mg ha<sup>-1</sup> sa zalihom ugljika od 37 Mg C ha<sup>-1</sup>. Regresijskom analizom utvrđena je statistički značajna veza debljina šumske prostirke s količinama prostirke i zalihama ugljika, te su dani regresijski modeli za OL pothorizont, zatim za OF<sub>1</sub>, OF<sub>2</sub> i OH zajedno, kao i za ukupnu prostirku. Rezultati ovog istraživanja imaju praktičnu vrijednost u jednostavnijem kvantificiranju količina goriva i zaliha ugljika u šumskoj prostirci sastojina alepskog bora, koje se potom mogu koristiti u navedenim modelima. Inventarizacija šumskih goriva predstavlja osnovu za parametризaciju i operativnu primjenu navedenih modela u Hrvatskoj.

**KLJUČNE RIJEČI:** alepski bor, šumska prostirka, količine goriva, zalihe ugljika

### UVOD INTRODUCTION

Šumska prostirka (engl. *forest floor*) predstavlja sveukupni organski materijal, koji se bez obzira na stupanj razgradnje nalazi na površini mineralnog dijela tla. Prema stupnju razgradnje najčešće se razlučuju tri pothorizonta ili sloja šum-

ske prostirke, koji se označavaju kao OL, OF i OH<sup>1</sup> (Zanella i dr., 2011). U šumskoj prostirci akumulirana je velika količina hraniva. Ona značajno utječe na fizička i kemijska svojstva tla te na pedogenetske procese. Biološki gledano, šumska prostirka predstavlja jednu od najvažnijih karika razmjene tvari između šume, tla i atmosfere (Martinović, 2003).

<sup>1</sup> Navedeni podhorizonti prema FAO priručniku (2006) označavaju se kao Oi, Oe i Oa, zatim još kao Ol, Of, Oh, a u literaturi vezanoj uz šumske požare i kao L, F i H. Nera Bakšić, dipl. ing. šum., lzv. prof. dr. sc. darko Bakšić, dbaksic@sumfak.hr, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska c. 25

Kombinacija dugotrajnih sušnih razdoblja i visokih temperatura tipičnih za mediteransku klimu pretvara šumsku prostirku iz potencijalnog u raspoloživo šumsko gorivo, povećavajući rizik od ekstremnih šumskih požara. Najvažnija pojedinačna značajka koja kontrolira zapaljivost prostirke (mrtvog šumskog goriva) te ponašanje požara jest udio vlage, koji je izravno ovisan o meteorološkim uvjetima (temperatura, relativna vlažnost zraka, oborina, vjentar), ali i značajkama same prostirke (kapacitet vezanja vode, njena prozračnost itd.).

Udio vlage različit je za sve podhorizonte šumske prostirke i može se, ovisno o podhorizontu, mijenjati na bazi sata, tjedna, mjeseca ili čak sezone. OL-podhorizont ili listinac predstavlja površinski sloj šumske prostirke u kojemu se jasno razlikuju dijelovi biljaka (iglice, lišće, grančice, kora, češeri i sl.). Zbog male gustoće te izravnog kontakta s atmosferom OL-podhorizont ima velike i brze fluktuacije u udjelu vlage (na bazi sata), odnosno brzo se suši, lako zapali i obično gori plamtećim izgaranjem (engl. *flaming combustion*). Udio vlage ovog sloja (engl. *fine fuel moisture content*), odnosno mrtvog biljnog materijala do 6 mm promjera, posebno je važan čimbenik jer utječe na vjerojatnost zapaljenja, brzinu širenja, intenzitet požara i potrošnju goriva (Slijepčević i dr., 2015), zbog čega je okosnica gotovo svih modela za procjenu opasnosti od šumskih požara te modela za predikciju ponašanja i širenja šumskog požara.

U OF podhorizontu biljni ostaci su fragmentirani, umjerenorezgrađeni i transformirani, djelomično ili teško prepoznatljivi, često prožeti micelijem gljiva, dok su u OH podhorizontu organski ostaci humificirani, pa se više ne raspoznaje njihova struktura. Podhorizonti OF i OH imaju veću gustoću i nisu u izravnom kontaktu s atmosferom, pa se sporije suše (Miyaniishi, 2001; Van Wagner, 1987), te su uz veći kapacitet za vodu obično i znatno vlažniji od OL-podhorizonta (Banwell i dr., 2013). Zbog toga se teže zapale i gore tinjajućim izgaranjem (engl. *smouldering combustion*) nakon prolaska glavne plamene fronte (Keane, 2015; Miyaniishi, 2001; Wilmore, 2001), iako, ukoliko su dovoljno suhi, i ovi slojevi šumske prostirke mogu biti zahvaćeni plamtećim izgaranjem.

Informacije o šumskoj prostirci se zbog navedenih svojstava tradicionalno koriste u modelima za procjenu opasnosti od šumskih požara te modelima za predikciju ponašanja i širenja šumskih požara, a u novije vrijeme i za procjenu emisija ugljika i drugih plinova, kvantificiranje zaliha ugljika te opisivanje staništa i njegove produktivnosti (Keane i dr., 2012; Sommers i dr., 2014; Weise i Wright, 2014). U globalnom ciklusu ugljika, požari imaju veliku ulogu u oslobađanju zaliha terestričkog ugljika vezanog u različitim sastavnica kopnenih ekosustava (biomasa, šumska prostirka, tlo). Globalno gledajući, zbog požara se prosječno godišnje (1997.–2009.) u atmosferu oslobodi 2 Pg ugljika (van der

Werf i dr., 2010), što iznosi ~ 22 % u odnosu na globalnu emisiju ugljika zbog izgaranja fosilnih goriva (French i dr., 2011). Količina izravno oslobođenog ugljika u požaru jako varira i ovisi o količini i vrsti goriva, kemijskom sastavu goriva, strukturi i rasporedu goriva, meteorološkim uvjetima tijekom požara (Sommers i dr., 2014), ali i o tipu izgaranja svake komponente goriva (French i dr., 2011). Informacije o šumskoj prostirci su posebno važne za modeliranje izravnih emisija ugljika tijekom požara, jer je izgaranje ovog sloja šumskog goriva zbog opisanih svojstava jako varijabilno i predstavlja najveći izvor nesigurnosti u procjeni ukupnih emisija ugljika tijekom požara (de Groot i dr., 2009).

Kanada i SAD, kao zemlje s dugogodišnjom znanstvenom, stručnom i operativnom praksom u upravljanju šumskim požarima, imaju velike i kvalitetne baze podataka o šumskim gorivima, uključujući i prostirku. Izradom kvalitetnih regresijskih modela operativcima je omogućeno da na temelju jednostavnije mjerljivih varijabli, u ovom slučaju debljine prostirke, dođu do količine raspoloživog mrtvog goriva u šumskoj prostirci, kao jedne od teže mjerljivih varijabli, a isto tako i do maksimalno raspoloživih zaliha ugljika koje se u šumskom požaru mogu iz prostirke osloboditi u atmosferu. Uporaba regresijskih modela dobivenih sustavnim znanstvenim istraživanjima, uobičajena je praksa za određivanje količine prostirke kao funkcije njene debljine (Brown i dr., 1982; Brown i dr., 2004; Knapp i dr., 2005; Letang i de Groot, 2012; Wagtenonk i dr., 1998), a dobivene količine koriste se u uvodno navedenim modelima.

U skladu s navedenim, usmjerena su i istraživanja koja se prezentiraju u ovome radu. Glavni ciljevi su utvrditi debljine, gustoće i količine podhorizonta šumske prostirke uz pripadajuće zalihe ugljika u sastojinama alepskog bora te izraditi regresijske modele debljine i količine šumske prostirke, kao i debljine i zalihe ugljika po podhorizontima i ukupno.

## MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA MATERIAL AND METHODS OF RESEARCH

Istraživanje je obavljeno na području Nacionalnog parka Mljet (slika 1) u zajednici alepskog bora i hrasta crnike (*Quercus ilicis–Pinetum halepensis* Loisel 1971). S obzirom da se radi o nacionalnom parku, antropogeni utjecaj na količinu prostirke je minimalan. Osim toga, na malom području u sličnim stanišnim uvjetima mogu se naći sastojine različite starosti, što omogućuje praćenje akumulacije prostirke tijekom životnog ciklusa alepskog bora (kronosekvenca).

Uzorkovanje šumske prostirke obavljeno je krajem lipnja 2015. godine po debljinskim razredima: 0–50 cm, 100–150 cm i 200–250 cm opsega. Sastojina 0–50 cm (AB50) obnovila se nakon požara 1972. godine, pa je starosti preko 40 godina. Sastojina 100–150 cm (AB150) prema Programu za gospodarenje šuma NP Mljet za razdoblje 2001.–2010.



Slika 1. Područje istraživanja  
Figure 1 Study site

(Hrvatski šumarski institut, 2001) pripadala je VII. dobnom razredu, tako da je sada starosti između 70 i 80 godina. Unutar ovih starih sastojina pronađena su i pojedinačna stabla opsega 200–250 cm (AB250) čija je starost, na temelju saznanja djelatnika nacionalnog parka, procijenjena na 120



Slika 2. Podhorizonti šumske prostirke u sastojini alepskog bora AB 250  
Figure 2 Forest floor horizons in Aleppo pine forest AB 250

godina. Prilikom izbora ploha vodilo se računa o tome da matični supstrat i tlo budu razmjerno homogeni te da nagib terena na svim plohama bude što manji, kako bi njegov utjecaj na distribuciju prostirke bio minimalan. Ispod krošanja alepskog bora odabirani su zaravnjeni mikrolokaliteti s nagibom do 5° (zaravni, prirodne terase) i minimalnom površinskom stjenovitosti. Matični supstrat na svim ploham činili su uslojeni vapnenci s ulošcima dolomita na kojima dominira kalkomelanosol, a tek sporadično se javlja kalkokambisol plitki.

U svakom debljinskom razredu uzeto je po 10 uzoraka prostirke s plohe dimenzija 30 x 30 cm. Uzorkovanje je obavljeno po podhorizontima (slika 2) na sljedeći način:

- OL – posebno su izdvajane iglice alepskog bora, listovi crnike i ostalih vrsta, kao i grančice tanje od 6 mm;
- OF – iako metodologija ne predviđa zasebno uzorkovanje, OF-pothorizont je uzorkovan u dva dijela. OF<sub>1</sub>, koji se nalazi ispod OL-pothorizonta, izdvojen je zbog toga što bi se prilikom požara mogao ponašati slično OL-pothorizontu, od kojega se razlikuje tamnijom bojom, nezatnom fragmentiranošću i početnim stupnjem razgradnje. OF<sub>2</sub> nalazi se ispod OF<sub>1</sub>, a stupanj razgradnje je značajniji, pri čemu su pojedni dijelovi biljnog materijala djelomično ili slabije raspoznatljivi;
- OH – humificirani organski ostaci koji su od OF<sub>2</sub> razdvajani uz pomoć sita dimenzija otvora 2 mm, a u dodiru s mineralnim dijelom tla ručno izdvajani te po potrebi prosijavani. Svi uočljivi mineralni fragmenti tla odmah su odvajani.

**Tablica 1.** Količina šumske prostirke (goriva) po podhorizontima OL, OF<sub>1</sub>, OF<sub>2</sub> i OH u sastojinama alepskog bora AB50, AB150 i AB250 (N = 10 za svaki debljinski razred)

**Table 1** Forest floor fuel loads in OL, OF<sub>1</sub>, OF<sub>2</sub> and OH horizons in Aleppo pine forests AB50, AB150 i AB250 (N = 10 for each size class)

Sloj <i>Horizon</i>	Aritm. sred. <i>Mean</i>	Medijan <i>Median</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>	Std. devijacija <i>Std. dev.</i>	Std. pogreška <i>Std. error</i>
<b>Količina prostirke AB 50 (Mg ha<sup>-1</sup>)</b> <i>Forest floor fuel load AB 50 (Mg ha<sup>-1</sup>)</i>						
OL	1,323	1,325	1,007	1,602	0,202	0,064
OF <sub>1</sub>	14,890	14,646	8,863	25,436	4,792	1,515
OF <sub>2</sub>	9,502	7,609	3,571	22,874	6,442	2,037
OH	4,095	2,335	0,851	9,413	3,382	1,070
Ukupno – Total	29,810	29,224	14,888	48,965	10,762	3,403
<b>Količina prostirke AB 150 (Mg ha<sup>-1</sup>)</b> <i>Forest floor fuel load AB 150 (Mg ha<sup>-1</sup>)</i>						
OL	1,690	1,570	1,060	2,610	0,516	0,163
OF <sub>1</sub>	18,447	19,047	8,940	27,798	5,478	1,732
OF <sub>2</sub>	21,743	20,448	13,783	36,686	7,993	2,528
OH	11,734	10,880	5,990	17,826	4,353	1,376
Ukupno – Total	53,613	58,230	29,903	70,153	13,921	4,402
<b>Količina prostirke AB 250 (Mg ha<sup>-1</sup>)</b> <i>Forest floor fuel load AB 250 (Mg ha<sup>-1</sup>)</i>						
OL	1,900	1,552	0,756	3,506	0,957	0,303
OF <sub>1</sub>	24,886	25,444	15,062	32,829	4,824	1,526
OF <sub>2</sub>	40,385	33,750	26,238	78,139	16,165	5,112
OH	27,140	28,811	3,479	36,558	10,242	3,239
Ukupno – Total	94,310	93,521	46,317	131,791	23,031	7,283

Na svakom uzorku izmjerena je dubina pojedinog podhorizonta na sve četiri strane, a njihova prosječna vrijednost predstavljala je konačnu dubinu podhorizonta. Posebno su izdvojeni češeri i grančice iznad 6 mm promjera, kao i kora na površini OL (njihove mase prikazane su odvojeno). Masa suhe tvari dobivena je sušenjem uzoraka 24 sata na 100°C, a ukoliko se radilo o većem i vlažnijem uzorku (OF, OH), sušenje je trajalo 48 h. Količina goriva izražena je masom suhe tvari po jedinici površine (Mg ha<sup>-1</sup>)\*.

Kako bi se odredila zaliha ugljika u prostirci određen je njegov udio po podhorizontima u svim kategorijama opsega alepskog bora, a dobivena srednja vrijednost pomnožena je s količinom prostirke. Uzorkovanje je obavljeno po podhorizontima OL (OL<sub>G</sub> i OL<sub>AL</sub> zasebno), OF (OF<sub>1</sub> i OF<sub>2</sub> zajedno) i OH, a udio organskog ugljika (N = 15 za svaki podhorizont) određen je suhim spaljivanjem u skladu s HRN ISO 10694:2004 normom. Masa suhog uzorka dobivena je sušenjem na 50 °C do konstantne mase.

Količina šumske prostirke i zaliha organskog ugljika po podhorizontima obrađene su deskriptivnom statistikom. Greška tipa I (a) od 5% smatrana je statistički značajnom (Sokal & Rohlf, 1995). Razlike količina prostirke i zaliha ugljika između istovrsnih podhorizontata po debljinskim ra-

zredima testirane su analizom varijance, jer je bio zadovoljen uvjet homogenosti varijance. Kad je analiza varijance pokazala da postoji statistički značajna razlika, pojedinačne razlike testirane su Tukey-ovim višestrukim post hoc testom (Petz i dr., 2012). Regresijskom analizom utvrđena je veza debljina prostirke i pripadajućih količina, odnosno zaliha ugljika te su dane regresijske jednadžbe. Statistička analiza podataka obavljena je u programima Excel i Statistica (Stat-Soft, Inc, 2007).

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA RESEARCH RESULTS

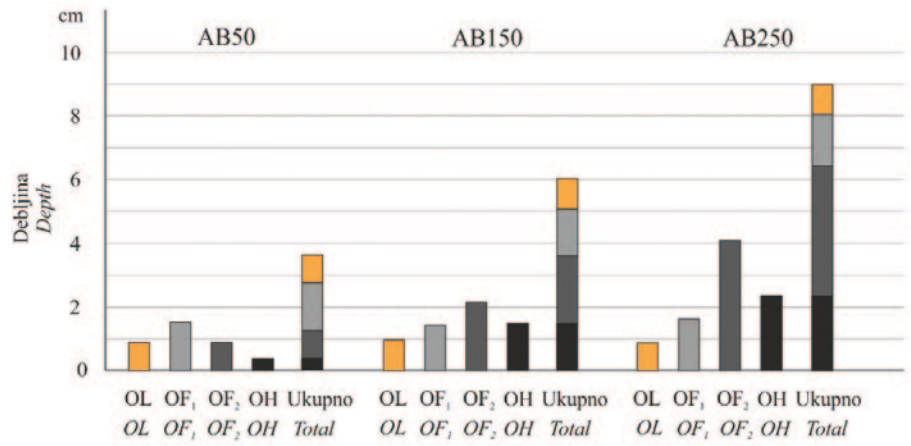
### Debljina i gustoća prostirke

Debljina šumske prostirke u sastojini alepskog bora AB50 iznosi 3,7 ± 0,7 cm (aritm. sred. + std. dev.), u sastojini AB150 6,1 ± 1,4 cm, a u sastojini AB250 9,0 ± 2,6 cm. Za sve sastojine gotovo je jednaka debljina OL i OF<sub>1</sub> pothorizontata, dok se sa starošću debljina OF<sub>2</sub> i OH povećava (slika 3). Debljina OF<sub>2</sub> povećava se sa 0,9 ± 0,4 cm (AB50), na 2,2 ± 0,5 cm (AB150) te 4,1 ± 1,7 cm (AB250), a OH sa 0,4 ± 0,3 cm (AB50), na 1,5 ± 0,7 cm (AB150) te 2,4 ± 1,3 cm (AB250).

\* Svi rezultati izraženi su u Mg ha<sup>-1</sup> (t/ha) zbog toga što je to uobičajeno u našoj šumarskoj praksi. Međutim, u istraživanjima vezanim uz šumske požare češće se upotrebljava jedinica kg m<sup>-2</sup>.

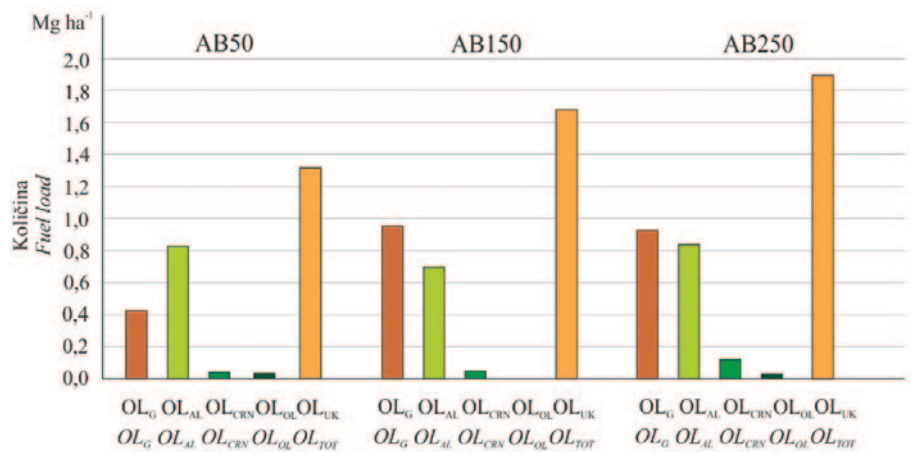
**Slika 3.** Srednje vrijednosti debljine (cm) podhorizonta šumske prostirke OL, OF<sub>1</sub>, OF<sub>2</sub> i OH za sastojine alepskog bora AB50, AB150 i AB250 (N = 10 za svaki debljinski razred).

**Figure 3** Average depths (cm) of the forest floor horizons OL, OF<sub>1</sub>, OF<sub>2</sub> and OH in Aleppo pine forests AB50, AB150 and AB250 (N = 10 for each size class).



**Slika 4.** Srednje vrijednosti količina (Mg ha<sup>-1</sup>) sastavnica OL-podhorizonta: grančice promjera ispod 6 mm (OL<sub>G</sub>), iglice alepskog bora (OL<sub>AL</sub>), lišće crnike (OL<sub>CRN</sub>), lišće ostalih listača (OL<sub>OL</sub>) i ukupno (OL<sub>UK</sub>) u sastojinama alepskog bora AB50, AB150 i AB250 (N = 10 za svaki debljinski razred)

**Figure 4** Average fuel loads (Mg ha<sup>-1</sup>) of the OL horizon by components: twigs less than 6 mm diameter (OL<sub>G</sub>), Aleppo pine needles (OL<sub>AL</sub>), Holm oak leaves (OL<sub>CRN</sub>), other broadleaves (OL<sub>OL</sub>) and total fuel load for (OL<sub>TOT</sub>) AB50, AB150 i AB250 (N = 10 for each size class)



Kako nisu utvrđene statistički značajne razlike u gustoćama između istovrsnih podhorizonta različitih kategorija opsega stabala, dana je srednja vrijednost gustoća za sve uzorke (N = 30). Gustoća OL-podhorizonta iznosi  $19,5 \pm 7,9 \text{ kg m}^{-3}$ , OF-podhorizonta  $115,0 \pm 35,1 \text{ kg m}^{-3}$ , a OH-podhorizonta  $104,4 \pm 38,9 \text{ kg m}^{-3}$ .

### Količina prostirke

Količina prostirke povećava se sa starošću sastojine pa za AB50 iznosi  $29,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , za AB150  $53,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ , a za AB250  $94,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  (tablica 1).

Za OL-podhorizont nije utvrđena statistički značajna razlika između sastojina. Udio grančica (OL<sub>G</sub>) ispod 6 mm promjera povećava se sa starošću s  $0,43 \pm 0,22 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 50), na  $0,96 \pm 0,44 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 150), odnosno  $0,93 \pm 0,74 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Udio iglica alepskog bora je podjednak i kreće se od  $0,83 \pm 0,21 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 50), preko  $0,69 \pm 0,23 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 150) do  $0,84 \pm 0,40 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 250). Udio lišća crnike također je podjednak i kreće se od  $0,04 \pm 0,06 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 50), preko  $0,04 \pm 0,06 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 150) do  $0,11 \pm 0,12 \text{ Mg ha}^{-1}$  (AB 250), dok je udio listinca ostalih listača minimalan i po rezultatima ne prelazi  $0,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ . AB250 statistički se značajno razlikuje od AB50 i AB150 po većoj količini OF<sub>1</sub> (F=10,100; p<0,001) i OF<sub>2</sub> (F=19,785; p<0,001), dok se

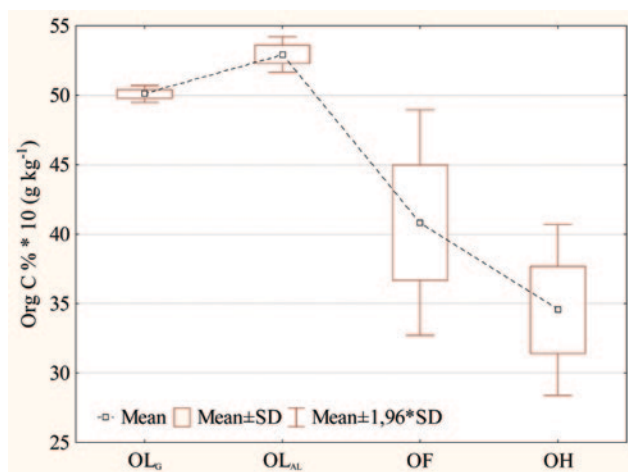
po količini OH (F=30,555; p<0,001) sve sastojine (AB50, AB150 i AB250) statistički značajno razlikuju.

U obračunu količine OL nisu uračunate grančice iznad 6 mm promjera, kora i češeri. Prilikom uzorkovanja u sastojini AB 50 isti nisu niti zabilježeni. Za AB150 količina češera iznosi  $0,808 \pm 1,463 \text{ Mg ha}^{-1}$ , a količina grančica iznad 6 mm  $0,690 \pm 1,288 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dok za AB250 količina češera iznosi  $0,351 \pm 1,022 \text{ Mg ha}^{-1}$ , grančica iznad 6 mm  $1,421 \pm 4,492 \text{ Mg ha}^{-1}$  i kore  $0,343 \pm 1,085 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

### Udio i zaliha organskog ugljika

S obzirom da OL<sub>G</sub> i OL<sub>AL</sub> čine više od 93% mase u OL pothorizontu, u njima je određen udio organskog ugljika, kao i u OF i OH pothorizontima. Udio ugljika (aritm. sred.  $\pm$  std. dev.) u OL<sub>G</sub> iznosi  $50,10 \pm 0,31 \%$ , u OL<sub>AL</sub>  $52,99 \pm 0,65 \%$ , u OF  $40,83 \pm 4,14 \%$  i u OH  $34,54 \pm 3,14 \%$  (slika 5). Ovi udjeli korišteni su prilikom izračuna zalihe ugljika u tablici 2.

Zaliha organskog ugljika povećava se sa starošću sastojine, pa za AB50 iznosi  $12,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , za AB150  $21,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , a za AB250  $37,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (tablica 2). Prema zaliham ugljika za OL pothorizont nije utvrđena statistički značajna razlika između sastojina. AB250 statistički se značajno razlikuje od AB50 i AB150 po većoj zalihi ugljika



**Slika 5.** Udio organskog ugljika za grančice tanje od 6 mm promjera ( $OL_G$ ), iglice alepskog bora ( $OL_{AL}$ ), OF i OH podhorizonta ( $N = 15$  za svaki podhorizont)

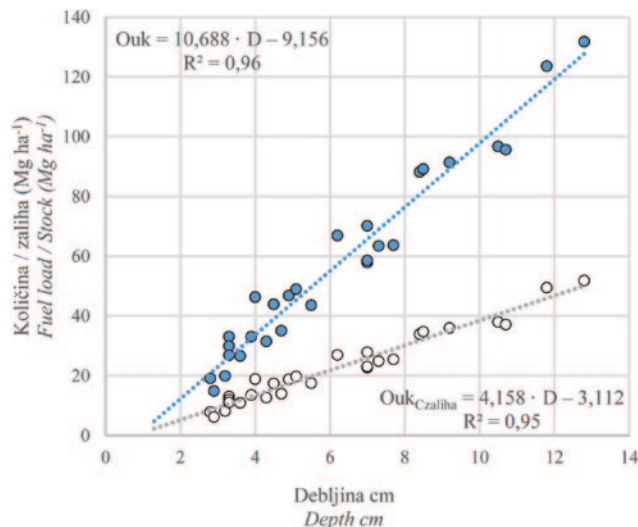
**Figure 5** Organic carbon content in twigs less than 6 mm diameter ( $OL_G$ ), Aleppo pine needles ( $OL_{AL}$ ), OF and OH horizons ( $N = 15$  for each organic horizon)

u  $OF_1$  ( $F=13,869$ ;  $p<0,001$ ), dok se po zalihi ugljika u  $OF_2$  ( $F=21,324$ ;  $p<0,001$ ) i OH ( $F=29,189$ ;  $p<0,001$ ) sve sastojine (AB50, AB150 i AB250) statistički značajno razlikuju.

### Odnos debljine prostirke prema količini i zalihi organskog ugljika

Regresijskom analizom utvrđena je statistički značajna veza debljina šumske prostirke s količinama prostirke i zaliha

ugljika te su dani regresijski modeli za OL-pothorizont, zatim za  $OF_1$ ,  $OF_2$  i OH zajedno, kao i za ukupnu prostirku (slika 6). U tablici 3 prikazani su regresijski modeli odnosa debljine prostirke s količinom i zalihom organskog ugljika te njihova validacija.



**Slika 6.** Regresijski modeli za procjenu ukupne količine prostirke ( $Ouk = 10,688 \cdot D - 9,156$ ) i ukupne zalihe ugljika ( $Ouk_{Czaliha} = 4,158 \cdot D - 3,112$ ) temeljem debljine prostirke ( $D$ ). Plave točkice označavaju količine prostirke, a bijele zalihe organskog ugljika

**Figure 6** Regression models for forest floor fuel loads ( $Ouk = 10,688 \cdot D - 9,156$ ) and Carbon stocks ( $Ouk_{Czaliha} = 4,158 \cdot D - 3,112$ ) as a function of forest floor depths ( $D$ ). Blue marks represent a forest floor fuel loads and white marks represent Carbon stocks

**Tablica 2.** Zaliha organskog ugljika po pothorizontima OL,  $OF_1$ ,  $OF_2$  i H u sastojinama alepskog bora AB50, AB150 i AB250 ( $N = 10$  za svaki debljinski razred)

**Table 2** Carbon stocks in OL,  $OF_1$ ,  $OF_2$  and H horizons of Aleppo pine forests AB50, AB150 i AB250 ( $N = 10$  for each size class)

Sloj Horizon	Aritm. sred. Mean	Medijan Median	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Std. devijacija Std. dev.	Std. pogreška Std. error
Zaliha Org. C AB 50 ( $Mg\ ha^{-1}$ ) Carbon stock AB50 ( $Mg\ ha^{-1}$ )						
OL	0,688	0,687	0,526	0,834	0,104	0,033
$OF_1$	6,080	5,980	3,619	10,385	1,957	0,619
$OF_2$	3,880	3,107	1,458	9,339	2,630	0,832
OH	1,414	0,807	0,294	3,252	1,168	0,369
Ukupno – Total	12,062	11,849	6,205	19,730	4,232	1,338
Zaliha Org. C AB 150 ( $Mg\ ha^{-1}$ ) Carbon stock AB 150 ( $Mg\ ha^{-1}$ )						
OL	0,867	0,802	0,549	1,332	0,262	0,083
$OF_1$	7,532	7,777	3,650	11,350	2,237	0,707
$OF_2$	8,877	8,349	5,628	14,978	3,264	1,032
OH	4,053	3,758	2,069	6,157	1,504	0,475
Ukupno – Total	21,329	22,904	11,949	27,883	5,495	1,738
Zaliha Org. C AB 250 ( $Mg\ ha^{-1}$ ) Carbon stock AB 250 ( $Mg\ ha^{-1}$ )						
OL	1,000	0,806	0,391	1,778	0,468	0,148
$OF_1$	10,161	10,388	6,150	13,404	1,970	0,623
$OF_2$	16,489	13,780	10,713	31,903	6,600	2,087
OH	9,375	9,952	1,202	12,628	3,538	1,119
Ukupno – Total	37,024	36,550	18,866	51,858	9,078	2,871

**Tablica 3.** Regresijski modeli odnosa debljina prostirke s pripadajućim količinama prostirke i zaliha organskog ugljika.  
**Table 3** Regression models for forest floor fuel loads and Carbon stocks as a function of forest floor depths.

Br. No	Varijabla (N = 28) Variable (N = 28)	Regresijski model Regression model	Evaluacijski parametri – Evaluation parameters					Distribucija reziduala Residual distribution
			p	MBE	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	
1	OL količina (Mg ha <sup>-1</sup> ) OL Fuel Load (Mg ha <sup>-1</sup> )	OL = 1,810 · D (s.e. = 0,100)	< 0.0001	0,005	0,402	0,497	0,55	Nasumična Random
2	OL zaliha C (Mg C ha <sup>-1</sup> ) OL C stock (Mg C ha <sup>-1</sup> )	OL <sub>Czaliha</sub> = 0,937 · D (s.e. = 0,051)	< 0.0001	-0,002	0,212	0,255	0,53	Nasumična Random
3	Količina OF+OH (Mg ha <sup>-1</sup> ) OF + OH Fuel Load (Mg ha <sup>-1</sup> )	OFH = 10,549 · D (s.e. = 0,192)	< 0.0001	0,331	5,291	5,970	0,96	Nasumična Random
4	OF+OH zaliha C (Mg C ha <sup>-1</sup> ) OF+OH C stock (Mg C ha <sup>-1</sup> )	OFH <sub>Czaliha</sub> = 4,134 · D (s.e. = 0,079)	< 0.0001	0,058	2,135	2,439	0,96	Nasumična Random
5	Količina prostirke (Mg ha <sup>-1</sup> ) Forest floor fuel load (Mg ha <sup>-1</sup> )	Ouk = 10,688 · D – 9,156 (s.e. = 0,438; s.e. = 2,980)	< 0.0001	0,000	5,661	6,311	0,96	Nasumična Random
6	Zaliha C (Mg C ha <sup>-1</sup> ) C stock (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Ouk <sub>Czaliha</sub> = 4,157 · D – 3,112 (s.e. = 0,177; s.e. = 1,207)	< 0.0001	0,000	2,278	2,556	0,95	Nasumična Random

## RASPRAVA DISCUSSION

Prikupljanje podataka o značajkama šumskih goriva u mediteranskim ekosustavima Hrvatske započela je Bilandžija (Bilandžija, 1992; Bilandžija i Lindić, 1993). U svojim istraživanjima primjenjuje metodologiju koju daju Brown i dr. (1982). Međutim, podaci o prostirci dobiveni iz njezinih radova ne mogu se usporediti s našim rezultatima zbog nešto drukčije metodologije. Usporedba bi se eventualno mogla obaviti uvidom u izvorne podatke, gdje bi se na temelju debljina ili gustoća mogli rekonstruirati pripadajući podhorizonti šumske prostirke.

Barčić i dr. (2011) navode maksimalne količine prostirke od 37 Mg ha<sup>-1</sup> u kulturama alepskog bora, dok Martinović navodi 59,9 Mg ha<sup>-1</sup> (debljina 5,7 cm), upravo u sastojinama na Mljetu. Rezultati ovog istraživanja mogu se usporediti samo s rezultatima istraživanja Martinovića (2003), koji za 11 lokaliteta alepskog bora navodi nešto veće količine prostirke od ovdje prikazanih, za raspon debljina do 6 cm. Značajno veće količine prostirke (94,3 Mg ha<sup>-1</sup>) utvrđene su ispod stabala alepskog bora opsega od 200–250 cm (tablica 1). Iako su ova stabla obuhvaćena s ciljem utvrđivanja količine prostirke starih sastojina, treba istaknuti da se radi o pojedinačnim stablima, a ne o suvisloj sastojini. Ova su istraživanja pokazala veliku varijabilnost količina šumske prostirke ukupno i po podhorizontima za sve debljinske razrede (AB50, AB150 i AB250). Koeficijenti varijance uglavnom su u rasponu od 20–40%. Slične i veće varijabilnosti količina šumske prostirke objavljene su za različite sastojine Kanade (Letang i de Groot, 2012) i gorja Stjenjaka (Keane i dr., 2012).

Godišnja akumulacija OL podhorizonta u šumama alepskog bora kreće se u širokom rasponu od 1,5 do 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> (Arianoutsou i Radea, 2000). García-Plé i dr. (1995) temeljem

dvije godine opažanja navode prosječne godišnje akumulacije OL od 2,52 i 3,44 Mg ha<sup>-1</sup>, a Lado-Monserrat i dr. (2015) navode slične prosječne godišnje količine od 2,65 i 3,17 Mg ha<sup>-1</sup>. Iglice alepskog bora dominiraju i čine od 63 do 97 % udjela, najčešće 70–80 %. Dinamiku opada tijekom godine najdetaljnije su raščlanili García-Plé i dr. (1995). Oni navode da je maksimalni opad grančica i češera tijekom veljače i ožujka, cvatova u ožujku i travnju, a iglica tijekom srpnja i kolovoza. Rezultati naših istraživanja u OL pothorizontu pokazuju podjednak udio iglica alepskog bora i grančica do 6 mm (slika 4), a ukupna količina OL je u rasponu od 1,32 (AB50) do 1,90 Mg ha<sup>-1</sup> (AB250). S obzirom da je vrijeme uzorkovanja bilo krajem lipnja, na početku razdoblja opadanja iglica, a maksimum opada je tijekom srpnja i kolovoza, može se očekivati da bi se količina OL barem udvostručila, a udio iglica značajnije poveća.

Za svaki je pothorizont zasebno određen udio ugljika, kako bi se što preciznije mogla procijeniti njegova zaliha (De Vos i Cools, 2011). Ovi su podaci ključni za modeliranje izravnih emisija ugljika tijekom šumskih požara, jer šumska prostirka predstavlja značajan izvor emisija, a ovisno o izgorenoj količini i stupnju izgaranja, i najveći izvor nesigurnosti u procjeni ukupnih emisija ugljika tijekom požara. Udio organskog ugljika u iglicama alepskog bora u ovom radu od 529,9 g kg<sup>-1</sup> (52,99%) podudara se s udjelom organskog ugljika od 536,1 g kg<sup>-1</sup> kojeg navode Lado-Monserrat i dr. (2015). Koeficijenti varijance za udio ugljika u iglicama i grančicama do 6 mm (homogeni materijal) su niski i iznose 1,3 %, odnosno 0,6 %, dok su koeficijenti varijance za OF i OH očekivano viši i iznose 10,1 %, odnosno 9,1 %, što je i logično s obzirom na heterogeni sastav i različit stupanj dekompozicije. Udio organskog ugljika po svim podhorizontima šumske prostirke alepskog bora nešto je veći od prosječnih vrijednosti koje za šumsku prostirku daju De Vos i Cools (2011), dok je u odnosu na udio ugljika kojeg

za četinjače daju Schulp i dr. (2008) ta razlika još izraženija. Ukupna zaliha ugljika u šumskoj prostirci alepskog bora povećava se sa starošću sastojine (tablica 2). Zalihe ugljika od  $21,4 \pm 5,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  u sastojinama AB150 (starosti 70–80 godina) u skladu su sa srednjim vrijednostima zaliha ugljika koje za šumsku prostirku europskih šuma navode De Vos i dr. (2012), a ona iznosi  $21\text{--}23 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . De Vos i Cools (2011) također navode da se zaliha ugljika u području Mediterana kreće u rasponu od  $5\text{--}25 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Zaliha organskog ugljika u šumskoj prostirci starih šuma za umjereno topla, suha područja u rasponu je od  $17,3$  do  $21,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Penman i dr., 2003).

Regresijskim modelima definirana je povezanost debljine šumske prostirke i njene količine te zalihe ugljika. S obzirom da su razlike u gustoćama između OL te OF+OH pot-horizontata velike, najbolje je koristiti zasebne regresijske modele za OL (tablica 3, modeli 1 i 2) i OF+OH (tablica 3, modeli 3 i 4) prilikom izračuna količine prostirke i zalihe ugljika, pa ih na kraju sumirati. Moguće je koristiti i regresijski model za izračun ukupne količine prostirke i ukupne zalihe ugljika u prostirci (tablica 3, modeli 5 i 6), ali tek za prostirke kod kojih je OF+OH deblji od 1 cm, odnosno kada je ukupna debljina prostirke iznad 2,5 cm. Primjenjivost regresijskih modela za ostale zajednice, kao i kulture alepskog bora, treba provjeriti.

## ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Iako se s gledišta šumskih požara prostirka promatra kao potencijalno gorivo, ne smije se zanemariti njena uloga i značaj u izmjeni tvari i energije, poglavito ugljika, u kontekstu aktualnih globalnih klimatskih promjena. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da sastojine alepskog bora vežu značajne količine ugljika u svojoj prostirci, no uvjeti i zakonitosti nisu još dovoljno proučeni. U prilog tome govore značajno veće debljine i količine šumske prostirke u sastojinama alepskog bora od onih do sada poznatih, pa je tako ispod stabala opsega 200–250 cm utvrđena srednja debljina prostirke od 9,0 cm i procijenjena količina od  $94,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  sa zalihom ugljika od  $37 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . To upućuje na potrebu sustavnih istraživanja i upotpunjavanje dosadašnjih spoznaja.

Regresijskom analizom definirana je povezanost debljine šumske prostirke i njene količine, odnosno zalihe organskog ugljika te su dani regresijski modeli. Rezultati ovog istraživanja imaju praktičnu vrijednost u jednostavnijem kvantificiranju količina goriva i zaliha ugljika. Ove se informacije mogu koristiti u modelima za procjenu opasnosti od šumskih požara te modelima za predikciju ponašanja i širenja šumskih požara, za modeliranje izravnih emisija ugljika tijekom požara te kvantificiranje zaliha ugljika. Inventarizacija šumskih goriva predstavlja osnovu za parametrizaciju i operativnu primjenu navedenih modela u Hrvatskoj.

## LITERATURA REFERENCES

- Arianoutsou, M., Radea, C., 2000. Litter production and decomposition in *Pinus halepensis* forests. In: Neëman, G., Trabaud, L. (Eds.), Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 183–190.
- Banwell, E.M., Varner, J.M., Knapp, E.E., Van Kirk, R.W., 2013. Spatial, seasonal, and diel forest floor moisture dynamics in Jeffrey pine–white fir forests of the Lake Tahoe Basin, USA. *For. Ecol. Manage.* 305, 11–20.
- Barčić D., Ž. Španjol, R. Rosavec, 2011: Čimbenici utjecaja šumske prostirke na požare u šumskim ekosustavima, Vatro-gastvo I upravljanje požarima, Vol. I, No. 1.
- Bilandžija, J., 1992: Prorodno opterećenje sastojina alepskog, primorskog i crnog bora šumskim gorivima, Radovi, Vol. 27, Br.2, 105–113, Jastrebarsko.
- Bilandžija, J., V. Lindić, 1993: Utjecaj strukture šumskog goriva na vjerojatnost pojave i razvoj požara u sastojinama alepskog bora (Influence of forest fuel structure on the fire probability and behaviour in Aleppo pine stands), Radovi, Vol. 28, Br. 1–2, 215–224, Jastrebarsko.
- Brown, J. K., Oberheu, R. D. & Johnston, C. M., 1982: *Handbook for Inventorying Surface Fuels and Biomass in the Interior West*. General Technical Report INT – 129. Ogden, Utah: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Brown, S., D. Shoch, T. Pearson, M. Delaney, 2004. Methods for Measuring and Monitoring Forestry Carbon Projects in California. Winrock International, for the California Energy Commission, PIER Energy–Related Environmental Research. 500–04–072F.
- de Groot, W. J., J. M. Pritchard, T. J. Lynham, 2009: Forest floor fuel consumption and carbon emissions in Canadian boreal forest fires, *Can. J. For. Res.* 39, p 367–382.
- De Vos B., N. Cools, 2011: Forest floor and mineral SOC stocks in European forests: results from the 2004–2008 BioSoil survey, <http://www.wsl.ch/fe/boden/projekte/cost-action/barcelona/DeVoos.pdf>.
- De Vos, B., N. Cools, H. Ilvesniemi, L. Vesterdal, E. Vanguelova, S. Carnicelli, 2012: Forest floor and mineral soil organic carbon stock in European forests: results from the 2004–2008 BioSoil survey, Monitoring European Forests, Detecting and Understanding changes, Abstracts of the ICP Forests Conference 2012, Warsaw, Poland.
- FAO, 2006: Guidelines for soil description, Fourth edition, Rome.
- French, N.H.F., W. J. de Groot, L.K. Jenkins, B.M. Rogers, E. Alvarado, B. Amiro, B. de Jong, S. Goetz, E. Hoy, E. Hyer, R. Keane, B. E. Law, D. McKenzie, S.G. McNulty, R. Ottmar, D.R. Pérez-Salicrup, J. Randerson, K.M. Robertson, M. Turetsky, 2011: Model comparisons for estimating carbon emissions from North American wildland fire, *J. Geophys. Res.*, 116, G00K05, doi:10.1029/2010JG001469.
- García-Plé, C., P. Vanrell, M. Morey, 1995: Litter fall and decomposition in a *Pinus halepensis* forest on Mallorca, *Journal of Vegetation Science* 6, 17–22, IAVS, Opulus Press Uppsala.



- Hrvatski šumarski institut, 2001: Program za gospodarenje šumama Nacionalnog parka Mljet, za razdoblje od 1.1.2001. do 31.12.2010., Odjel za uređivanje šuma i šumarsku ekonomiku Šumarskog instituta, Jastrebarsko, djelatnici poduzeća "Hrvatske šume" d.o.o., Uprave šuma Podružnica Delnice, Odjela za uređivanje šuma.
- Keane, R. E., K. Gray, V. Bacciu, 2012: Spatial variability of wildland fuel characteristics in northern Rocky Mountain ecosystems, Res. Pap. RMRS-RP-98, Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 56 p.
- Keane, R.E., 2015. Wildland fuel fundamentals and applications, Springer (eBook), 191 p.
- Knapp, E. E., J. E. Keeley, E. A. Ballenger, T. J. Brennan, 2005: Fuel reduction and coarse woody debris dynamics with early season and late season prescribed fire in a Sierra Nevada mixed conifer forest, *Forest Ecology and Management* 208, p 383–397.
- Lado-Monserrat, L., A. Lidón, I. Bautista, 2015: Litterfall, litter decomposition and associated nutrient fluxes in *Pinus halepensis*: influence of tree removal intensity in a Mediterranean forest, *European Journal of Forest Research* 134: 833–844, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Letang, D. L., W. J. de Groot, 2012: Forest floor depths and fuel loads in upland Canadian forests, *Canadian Journal of Forest Research* 42: 1551–1565, NRS Research Press.
- Martinović, J., 2003. Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj. Šumarski institut, Jastrebarsko; „Hrvatske šume“ d.o.o., Zagreb, 525 p.
- Miyaniishi, K., 2001. Duff consumption. In: Johnson, E.A., Miyaniishi, K. (Eds), *Forest Fires: Behavior and Ecological Effects*. New York, NY: Academic Press, pp. 437–475.
- Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner, 2003: Good Practice Guidance for Land-Use Change and Forestry, The International Panel on Climate Change (IPCC).
- Petz, B., V. Kolesarić, D. Ivanec, 2012: Petzova statistika – Osnovne statističke metode za nematematičare, Naklada Slap, 680 p.
- Schulp, C. J. E., G.-J. Nabuurs, P. H. Verburg, R. W. de Waal, 2008: Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories, *Forest Ecology and Management* 256, 482–490.
- Sokkal, R. R., F. J. Rohlf, 1995: *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd ed. W. H. Freeman, New York, 887 p.
- Slijepčević, A., W.R. Anderson, S. Mathews, D.H. Anderson, 2015: Evaluating models to predict daily fine fuel moisture content in eucalypt forest, *Forest Ecology and Management* 335, 261–269.
- Sommers, W.T., Loehman, R.A., Hardy, C.C., 2014. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Science overview and knowledge needs. *For. Ecol. Manage.* 317, 1–8.
- StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- van der Werf, G.R., J.T. Randerson, L. Giglio, G.J. Collatz, M. Mu, P.S. Kasibhatla, D.C. Morton, R.S. DeFries, Y. Jin, and T.T. van Leeuwen, 2010: Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009), *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 11707–11735, doi:10.5194/acp-10-11707-2010.
- Van Wagner, C.E., 1987. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Technical Report No. 35. Canadian Forestry Service, Chalk River, Ontario, Canada.
- Wagtenonk, J. W., J. M. Benedict, W. M. Sydoriak, 1998: Fuel Bed Characteristics of Sierra Nevada Conifers, *The Western Journal of Applied Forestry*, Vol. 13, No 3, pp 73–84.
- Weise, D.R., Wright, C.S., 2014. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Characterizing wildland fuels. *For. Ecol. Manage.* 317, 26–40.
- Wilmore, B., 2001. Duff moisture dynamics in black spruce feather moss stands and their relation to the Canadian forest fire danger rating system. M.S. Thesis, University of Alaska, Fairbanks, USA.
- Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.F., Sartori, G., De Waal, R., Van Delft, B., Graefe, U., Cools, N., Kazensteiner, K., Hager, H., English, M., Breths, A., Broll, G., Gobat, J.M., Brun, J.J., Milbert, G., Kolb, E., Wolf, U., Frizzera, F., Galvan, P., Kolli, R., Baritz, R., Kemmers, R., Vacca, A., Serra, G., Banas, D., Garlato, A., Chersich, S., Klimo, E., Langohr, R., 2011: European humus forms Reference Base, p 56.

## Summary

From the aspect of forest fires, the forest floor is considered a potential fuel: however, in the context of current global climate change it plays an exceptionally important role in the exchange of matter and energy and of carbon in particular. For this reason, forest floor data are traditionally used in forest fire danger rating and in fire behavior and spread models. More recently they have also been used to estimate emissions of carbon and other gasses and to quantify carbon stocks. The main objectives of this study are to a) determine the depth, bulk density and fuel load for each forest floor horizon with the associated carbon stock in Aleppo pine stands and b) develop regression models that relate forest floor depth to forest floor fuel load and forest floor depth to forest floor carbon stock, for horizons and for the entire forest floor. Forest floor sampling was carried out in Aleppo pine stands situated in Mljet National Park, per 0-50 cm, 100-150 cm and 200-250 cm circumference classes. Each forest floor horizon was sampled separately, and fuel load and organic carbon content were determined for each horizon. Our results suggest that Aleppo pine stands contain significant carbon stocks in the forest floor, but relations and processes that influence these stocks have not been sufficiently studied. This is supported by significantly greater forest floor depths and fuel loads in Aleppo pine stands than previously reported. Thus, the mean depth of forest floor of 9.0 cm, fuel load of 94.3 Mg ha<sup>-1</sup>, and carbon stock of 37 Mg

C ha<sup>-1</sup> were determined under trees with a 200-250 cm circumference class. Regression analysis revealed a statistically significant relationship between depth and fuel load and between depth and carbon stock. Regression models were given for the OL horizon, the OF<sub>1</sub>, OF<sub>2</sub> and OH horizons, as well as for the entire forest floor. Our results have practical value as they will allow reliable quantifications of forest floor fuel loads and carbon stocks in Aleppo pine stands by using easily measurable fuel characteristic, which can then be applied in the aforementioned models. The forest fuel inventory provides the basis for parameterization and operational use of a number of forest resource management applications in Croatia.

---

**KEY WORDS:** Aleppo pine, forest floor, fuel load, carbon stocks