

UDK: 630*721(497.11 Rasinski okrug)
Оригинални научни рад
<https://doi.org/10.2298/GSF1919233S>

АКУМУЛАЦИЈА УГЉЕНИКА У ДВА ПРИРОДНА ПАШЊАКА ВИСОКОПЛАНИНСКИХ ПРЕДЕЛА СРБИЈЕ

Др Елмира Салников, научни саветник – Институт за земљиште, Београд
Др Сара Лукић, доцент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, (sara.lukic@sfb.bg.ac.rs)
MSc Предраг Миљковић, асистент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет
Мр Никола Коковић, стручни саветник, Институт за земљиште, Београд
Др Вељко Перовић, научни сарадник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“,
Универзитет у Београду
Др Драган Чакмак, виши научни сарадник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“,
Универзитет у Београду
Др Снежана Белановић Симић, редовни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет

Извод: Травњаци играју значајну улогу у глобалном кружењу угљеника, а резерве угљеника у травним екосистемима су под утицајем људских активности и природних поремећаја. Циљ овог проучавања је да се одреде разлике у резервама угљеника у травним екосистемима на два огледна локалитета на подручјима Старе планине и Златара (Србија). Проучавања подручја су под природним планинским травњацима исте заједнице (*Agrostietum capillaris* Pavl. 1955) и два типа земљишта (Umbric Leptosol (Dystric)) и (Haplic Cambisol (Dystric)), али са различитим интензитетом испаше. Узоркована је надземна и подземна биомаса, а земљиште по фиксним дубинама 0-10, 10-20 и 20-40 cm. Процена резерве угљеника и стопа акумулације одређене су методом Tier 2 IPCC (2003). Потенцијално минерализујући угљеник одређен је применом процедуре секвенцијалне инкубације у лабораторијским условима. Према добијеним резултатима, већа количина падавина на огледном подручју на Старој планини резултирала је већом акумулацијом надземне биомасе, која је била изложена већој декомпозицији *in situ* показујући тако мању количину потенцијално минерализујућег угљеника (PMC) *in vitro*. Такође, количина PMC на оба локалитета указује да је минерализација органске материје у земљишту под већим утицајем фактора везаних за својства земљишта, климатске услове и испашу.

Кључне речи: травњаци, резерва угљеника у биомаси, резерва угљеника у земљишту, минерализација угљеника, потенцијално минерализујући угљеник

УВОД

Највећа размена угљеника дешава се између атмосфере и биљака, према томе, терестрични екосистеми играју кључну улогу у глобалном циклусу кружења угљеника. Начин управљања

травним екосистемима у циљу акумулације угљеника и повећања приноса, смањења осетљивости на инпуте азота, цео екосистем чини отпорнијим на климатске промене (Lal, 2009; FAO, 2011).

У биомаси травних система, која је првенствено зељаста акумулирана је мала резерва угљеника (у поређењу са шумом) и стога се доминантна резерва угљеника налази у земљишту (Coppant, 2010). Травњаци својим подземним резервама угљеника доприносе у глобалном циклусу кружења угљеника (Scurlock и Hall, 1998). Глобалне процене релативне количине угљеника у различитим типовима вегетације указују да травњаци вероватно доприносе са > 10% укупних резерви у биосфери (Eswaran *et al.*, 1993; Nosberger *et al.*, 2000). Надземна биомаса травних екосистема може да акумулира релативно малу количину угљеника у поређењу са оном у земљишту. Земљиште складиште најмање три пута више угљеника (у органској материји земљишта) у односу како на атмосферу, тако и живе биљке (Fischin *et al.*, 2007).

Резерва угљеника у органској материји земљишта (SOM) која је подложна брзој декомпозицији састоји се и од лаке фракције и/или од фракције честица органске материје (POM), као и од остатака микроорганизама (Jones и Donnelly, 2004) који су веома лабилна резерва органске материје и варијација у резерви лаке органске материје је најбољи индикатор промена у органској материји земљишта условљених начином управљања, што су показала многа истраживања (Jenkinson, 1988; Gregorich *et al.*, 1996; Haynes, 2000; Saljnikov, 2004; Luo и Zhou, 2006; Saljnikov *et al.*, 2015; Funakawa *et al.*, 2010). Пошто је углавном сав лабилни С у травним екосистемима у земљишту, а наше разумевање процеса је слабо, нагласак је стављен на идентификацију укупне резерве угљеника и извора лабилног угљеника преко респирације земљишта и минерализације органске материје.

Респирација земљишта је други највећи флуks угљеника између терестричних екосистема и атмосфере у глобалном циклусу угљеника (Jia и Zhou, 2009; Thomey *et al.*, 2011), и игра важну улогу у регулисању резерве угљеника у земљишту и циклусу кружења угљеника у екосистемима (Cox *et al.*, 2000; Saiz *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2016).

Овај рад представља резултате пилот пројекта у оквиру ког су процењене и упоређене резерве угљеника на два проучавана подручја у високопланинским травним екосистемима Ста-

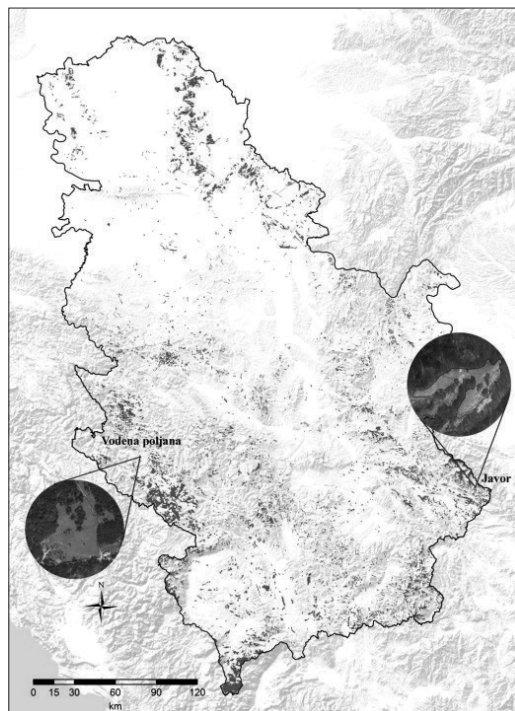
ре планине и Златара у Србији, дефинисане резервама угљеника како у надземној и подземној биомаси тако и у земљишту и то укупне резерве и лабилне форме. Основни циљ истраживања је да се на два проучавана локалитета природних планинских травњака, у сличним климатским и педолошким условима са различитим интензитетом испаше, утврди интензитет утицаја начина коришћења на акумулацију и расподелу угљеника, као и параметри земљишта који највише утичу на ове разлике.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Проучавано подручје

Истраживања су вршена у планинским травњацима Златара и Старе планине. Планина Златар се налазе у југозападном делу Србије и припада планинском венцу Динарских планина (Слика 1). Просечна надморска висина проучаване травне заједнице на Златару је 1200-1400 метара. Прелазни тип климе Златара резултат је интеракције маритимних и континенталних ваздушних маса. Средња годишња температуре ваздуха је 7,1°C, а годишња сума падавина је 751,5 mm за осматрани период 1990-2010. године (РХМЗ, 2010 – ГМС Сјеница). Масив планине Златар углавном је састављен од кречњака, пешчара, шкриљаца и рожнаца (Ćirić и сар., 1977) на којима су развијена земљишта која припадају типовима Umbric Leptosol (Dystric) и Haplic Cambisol (Dystric) (WRB, 2006). Вегетација Златара је условљена климом и карактерише је присуство климатогених заједница као што су фригорифилне шуме смрче, мезофилне шуме букве и мешовите шуме букве и јеле. Пашњаци се простиру на 24,31%, а ливаде на 15,45% површине Златара (Dragović *et al.*, 2009). Вегетација травњака Златара се карактерише високопланинском заједницом *Agrostietum capillaris* Pavl. 1955 коју смењују други типови травних заједница у зони шума букве, мешовитих шума букве и јеле и шума смрче.

Стара планина је смештена у југоисточном делу Србије на граници између Србије и Бугарске као наставак планинског венца Карпата (Слика 1). На подручју влада планинска клима



Слика 1. Просторни распоред травњака у Србији са означеним проучаваним подручјем на Златару и Старој планини

са средњом годишњом температуром ваздуха 6,1°C и просечном годишњом сумом падавина 1090 mm (Ristić, 2012). У геолошком погледу Стара планина је састављена од конгломерата, пешчара, аргилошиста и кречњака (Krstić *et al.*, 1970). На Старој планини је, за разлику од Златара, изражена висинска зоналност шумске вегетације. Најчешћи тип шуме на надморској висини 1200 до 1550 m нв. је планинска шума букве (*Fagetum moesiacaе montanum* Jov. 1953). Травне заједнице развиле су се у односу на висински градијент – од планинских ливада и па-

шњака преко планинских и субалпских до алпских пашњака (Mišić *et al.*, 1978). Доминантна травна заједница је *Agrostietum capillaris* Pavl. 1955.

Узорковање земљишта

Основано је укупно осам огледних поља у високопланинским пашњацима у заједници *Agrostietum capillaris* на Златару (Z1, Z2, Z3 и Z4) и на Старој планини (SP1, SP2, SP3 и SP4) (Слика 1). Огледна поља су на надморској висини 1296 до 1479 m нв. (Табела 1). Проучавани типови земљишта Umbric Leptosol (Dystric) и Harlic Cambisol (Dystric) (WRB, 2006) формиран су на рожнацу и шкриљцима. Просечна густина проучаваних земљишта је 0,95 g cm⁻³ (Златар) и 0,80 g cm⁻³ (Стара планина). На проучаваним пашњацима планине Златар повремено је присутна умерена слободна испаша коза, док су проучавани пашњаци на Старој планини непоремећени испашом или другим активностима као што је кошење.

Узорковање биомасе и одређивање резерви угљеника

Надземна биомаса (нето примарна продукција NadNPP) одређена је у јулу 2015. према препорукама LULUCF Упутства (IPCC, 2003) применом деструктивне методе „кошење и мерење“ (SOP 2034:1994). На сваком огледном пољу узорковано је по четири квадрата 0,5 m². Надземна биомаса унутар квадрата је посечена до површине земљишта (жива биомаса, стојећи биљни остаци и биљни остаци на површини земљишта), затим је жива надземна биомаса одвојена од прошлогодишњих стојећих биљних

Табела 1. Географски положај проучаваних локалита

Локалитет	Координате	Површина (ha)	Надморска висина (m)	Експозиција
Златар	43°14'20" - 43°14'33" N и 22°51'37" - 22°52'06" E	5,16	1438-1470	E
Стара планина	43°24'17" - 43°24'27" N и 19°48'36" - 19°48'4" E	8,08	1275-1428	W-SW

остатака и лежећих остатака, пондерисана и измерена. Посечена биомаса је сушена у сушници на 70 °C до константне масе.

Подземна биомаса (нето примарна продукција PodNPP) је мерена на сваком огледном пољу применом методе узорковања земљишта у ненарушеном стању (Ravindranath и Ostwald, 2008) узимањем по 2 непоремећена узорка земљишта помоћу цилиндара пречника 10,3 cm у слоју по 10-cm до дубине 30 cm у сваком квадрату. Подземна биомаса (корени, ризоми и др.) садржана у узорку је одвојена од земљишта уз помоћ воде и 0,3-mm сита. Узорци подземне биомасе су осушени у сушници на 70 °C до константне масе.

Укупан C у надземној и подземној биомаси измерен је на CNS апарату, Vario model EL III (ELEMENTAR Analysen systeme GmbH, Hanau, Germany; Nelson и Sommers, 1996).

Проучавања својстава земљишта

Отворена су по четири профила земљишта на сваком огледном пољу (укупно 8 профила), а узорковање је вршено према Протоколу за узорковање земљишта за сертификавање промена у резервама органског угљеника у минералном земљишту (Stolbovoy *et al.*, 2005). Узорковање је вршено по фиксним дубинама 0-10 cm, 10-20 cm и 20-40 cm. Основна физичка и хемијска својства одређена су на ваздушно сувим узорцима применом следећих метода: пипет метода је коришћена за анализу гранулометријског састава (ISO 11277:1998); густина земљишта (BD) је мерена сушењем узорка земљишта, узоркованог у ненарушеном стању, на 105 °C до константне масе (ISO 11272:1993); специфична густина земљишта је одређена методом (ISO 11508:2002); pH земљишног раствора је одређена електрометријски у дестилованој води (1:5) (ISO 10390:2007); хидролитичка киселост (cmol kg⁻¹) (екстракција помоћу CH₃COONa, титрација са 0,1M NaOH) и сума адсорбованих база (S) (cmol kg⁻¹) (екстракција помоћу 0,1M HCl, титрација помоћу 0,1M NaOH) је одређена методом по Карпен-у (Карпен, 1929), а укупни капацитет адсорпције катјона (Т) (cmol kg⁻¹) и степен zasiћености базама (V%) – рачунским путем (Hissink, 1925). Органски угљеник у земљишту (C) измерен је методом по Тјурину

(Nelson и Sommers, 1996), а укупни азот (N) методом по Kjeldahl-у (ISO 11261:1995). Лако-приступачни фосфор и калијум одређени су Al-методом по Egner-Riehm-у (Egner и Riehm, 1958). Да би се осигурала поузданост резултата, све анализе су урађене у два понављања.

Респирација земљишта

Потенцијално минерализујући угљеник одређен је применом секвенцијалне инкубације у лабораторији у условима контролисане влаге и температуре током 2-, 4-, 6-, 8-, 10-недеља (Janzen, 1987). Респирација земљишта је мерена фиксацијом ослобођеног CO₂ помоћу 1M NaOH и титрацијом преосталог NaOH помоћу HCl.

Потенцијално минерализујући угљеник (C₀) добијен је уклапањем података збирно утврђеног минерализованог C у кинетички модел првог реда (SPSS Inc., 2007): $C_{min} = C_0 * (1 - \exp(-k * t))$, где C_{min} представља експериментално добијену вредност минерализованог C у датом времену (t) C₀ је количина потенцијално минерализујућег C израчуната након постављања криве, k је нелинеарна константа стопе минерализације.

Годишњи инпут стеље у земљиште, без ексудације корена и резултата циклуса кружења, могу се одредити као надземна биљна продукција увећана за масу корена. Подземна респирација укључује укупни угљеник ослобођен у разлагању органске материје земљишта и респирације корена (Hungate *et al.*, 1997). Губитак угљеника одређен је на основу респирације мерене у лабораторијским условима инкубацијом током 90 дана.

РЕЗУЛТАТИ

Основна хемијска својства приказана су у табели 2. Проучавана земљишта са оба локалитета имају умерене до веома ниске вредности pH са ниским садржајем база. Реакција земљишног раствора није статистички значајно различита међу проучаваним локалитетима. Генерално, капацитет адсорпције катјона и садржај хумуса у слојевима земљишта 0-10 и 10-20 cm је виши на локалитету на Старој планини него

на Златару. Садржаји укупног С и N били су значајно виши на Старој планини него на Златару. Садржај биљкама лакоприступачног фосфора и калијума статистички се не разликују значајно међу проучаваним локалитетима, садржај фосфора је низак, а садржај калијума је средњи на оба локалитета.

Према механичком саставу, земљиште локалитета на Златару има већи садржај фракције глине него земљиште на локалитету на Старој

планини (Табела 2). Просечна порозност у слоју земљишта 0-10 cm на локалитету на Златару износи 64%, а на Старој планини 66%.

Надземна биомаса на локалитету на Златару је у опсегу од 3,09 (Z3) до 4,11 Mg ha⁻¹ (Z1). Надземна биомаса на локалитету на Старој планини је у опсегу од 3,93 (SP4) до 5,88 Mg ha⁻¹ (SP1). Мања количина надземне биомасе измерена је на Златару на огледним пољима на којима се врши испаша (Табела 3).

Табела 2. Основна хемијска својства земљишта на проучаваним локалитетима

Локалитет	Златар			Стара планина		
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
прах+глина %	53,05±5,56	55,975±5,16	56,45±7,9	46,175±5,08	47,55±2,22	53,70±6,6
BD (g cm ⁻³)	0,88±0,2	0,95±0,1	1,02±0,1	0,72±0,2	0,82±0,1	0,88±0,2
D (g cm ⁻³)	2,42±0,5	2,62±0,2	2,45±0,2	2,15±0,2	2,32±0,2	2,32±0,2
pH H ₂ O	5,28±0,2	5,24±0,2	5,32±0,3	5,20±0,2	5,18±0,2	5,21±0,2
pH CaCl ₂	4,39±0,3	4,30±0,2	4,29±0,3	4,49±0,1	4,34±0,2	4,39±0,2
T (cmol kg ⁻¹)	36,51±5,9	29,72±4,9	26,09±4,9	48,42±6,1*	41,42±7,4*	35,76±4,9*
V%	37,25±9,2	32,24±9,6	30,45±11,6	37,29±6,5	31,88±6,2	28,31±7,9
хумус%	10,80±3,2	6,02±2,1	3,24±1,5	15,55±4,1	10,94±2,9*	6,86±1,6*
C%	6,27±1,9	3,49±1,2	1,88±0,9	9,02±2,4	6,34±1,7*	3,98±0,9*
N%	0,498±0,19	0,365±0,10	0,192±0,13	0,863±0,10*	0,555±0,13	0,468±0,17*
C/N	13,18±4,0	9,44±1,0	6,40±4,5	10,33±1,5	11,43±1,5	8,84±1,6
P ₂ O ₅ (mg/100 g)	1,24±0,9	0,26±0,2	0,00±0,0	1,86±1,4	0,30±0,3	0,28±0,3
K ₂ O (mg/100 g)	18,25±14,5	13,72±14,1	7,10±4,0	26,02±11,5	15,06±7,3	9,48±6,6

Табела 3. Надземна и подземна биомаса и фракција угљеника у земљишту у слоју 0-10 cm

Огледно поље	Надземна биомаса Mg ha ⁻¹	Подземна биомаса Mg ha ⁻¹	CO ₂ -C (0-20 cm), mg kg ⁻¹ ваздушно суво земљиште	укупни С, %	PMС (0-20 cm), mg kg ⁻¹ ваздушно суво земљиште	Константа степе минерализације k
ЗЛАТАР						
1	4,11	23,10	518,45	7,71	12403,15	0,121
2	3,37	42,94	706,46	7,11	19279,04	0,081
3	3,09	12,35	575,33	3,54	15021,21	0,108
4	3,68	33,77	919,91	6,70	31655,30	0,067
Средња вредност	3,56±0,43	28,04±13,24	680,038	6,19	19589,67	0,094
СТАРА ПЛАНИНА						
1	5,88	27,11	656,80	6,58	16795,22	0,094
2	4,46	17,04	888,94	7,62	28285,53	0,075
3	4,44	16,81	1,009,00	10,13	36227,03	0,066
4	3,93	6,18	610,86	8,48	21460,04	0,081
Средња вредност	4,67±0,83*	16,79±8,55	791,368	8,20	25691,95	0,079

Респирација земљишта и количина потенцијално минерализујућег угљеника (РМС) на два локалитета статистички се не разликују. Стопа минерализације органског угљеника виша је на локалитету на Златару у поређењу са локалитетом на Старој планини. Највећа количина РМС на Старој планини измерена је на огледном пољу SP3, а на Златару на огледном пољу Z4, док је највиша стопа минерализације забележена на огледним пољима Z1 и Z3 на Златару и SP1 на Старој планини (Табела 3).

Укупна резерва угљеника у биомаси већа је на локалитету на Златару него на локалитету на Старој планини, али се статистички не разликују, док је резерва угљеника у земљишту на ова два локалитета статистички значајно различита, показујући веће резерве C у земљишту на Старој планини (Табела 4). Статистички значајно већа укупна резерва угљеника је на локалитету

на Старој планини у поређењу са локалитетом на Златару.

ДИСКУСИЈА

Разлика у садржајима лабилног угљеника на локалитетима на Старој планини и на Златару се може приписати различитој количини надземне и подземне биомасе, што је последица различитог састава лаке фракције органске материје. Травњаци имају знатно већу подземну биомасу од надземне, али по правилу, састав надземне биомасе трава чини надземну биомасу значајно расположивим супстратом за микроорганизме када доспе у земљиште и постане део органске материје земљишта. Земљишта на Старој планини имају генерално већу респирацију у контролисаним условима, што може

Табела 4. Резерва угљеника на два проучавана локалитета

Профил	Резерва угљеника у биомаси	Земљиште (0-40 cm)	Укупна резерва C
	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹
ЗЛАТАР			
1	6,56	96,94	103,50
2	14,89	166,71	181,59
3	5,77	76,33	82,101
4	10,43	157,24	167,66
Ср. вред.	9,41±0,42	124,304±44,5	133,71±48,4
СТАРА ПЛАНИНА			
1	12,74	158,56	171,29
2	7,39	173,98	181,37
3	7,08	191,91	198,99
4	3,68	202,15	205,83
Ср. вред.	7,74±3,74	181,652±19,3	189,37±15,85

Табела 5. Коефицијенти корелације између биолошких параметара земљишта

	AGB/ CO ₂	AGB/ РМС	BGB/CO ₂	BGB / РМС	ТС/ РМС	CO ₂ / РМС	CO ₂ /ТС
Златар	0,017	-0,053	0,859**	0,649*	0,227	0,947***	0,437*
Стара Планина	-0,180	-0,540	0,135	-0,281	0,898**	0,903**	0,651*

AGB - надземна биомаса; CO₂ – респирација; BGB – подземна биомаса; ТС-укупни угљеник; РМС – потенцијално минерализујући угљеник (лабилни угљеник).

указивати на већу микробиолошку активност ових земљишта. Затим, интензивнија респирација има за последицу већу количину измереног лабилног угљеника у земљишту Старе планине. Разлагање органске материје у земљишту је биолошки процес, према томе, промене у подземном угљенику или расположивост органске материје као енергетског материјала за земљишне микроорганизме могу изменити састав микробних заједница и њихову активност које, за узврат, мењају брзину декомпозиције и облике органске материје која је разложена (Schmidt *et al.*, 2011). Ову претпоставку, такође, потврђује резерва С у земљишту која је већа на Старој планини, а укупна резерва С у биомаси је већа на Златару (Табела 4). Према томе, могло би се закључити да се у земљишту на Златару процес минерализације органске материје одвија интензивније *in situ*, тиме и испирање лаке фракције органске материје, што се одразило на лабораторијска мерења инкубације лабилног угљеника, где су забележене ниже вредности РМС и више стопе минерализације.

На Златару, упркос већој количини подземне биомасе, укупни садржај С био је знатно нижи него на Старој планини. Акумулација и декомпозиција органске материје у земљишту првенствено зависе од влаге и температуре и хемијских карактеристика органске материје, која је енергетски материјал за земљишне микроорганизме, где се градијент акумулације лабилног угљеника повећава од влажне ка сувој и од хладне ка топлој клими. Насупрот томе, степен акумулације органске материје у земљишту повећава се од суве ка влажној и од топле ка хладној клими (Saljnikov *et al.*, 2009). Ово је потврђено подацима са оба проучавана локалитета, где се Златар одликује вишом средњом годишњом температуром ваздуха и нижом годишњом сумом падавина (7,1°C и 751,5 mm) у поређењу са Старом планином (6,1°C и 1090 mm). Већа количина падавина на Старој планини резултира већом акумулацијом надземне биомасе, која се разлаже *in situ* и тиме показујући мању количину РМС *in vitro*. Ово је у сагласности са резултатима Guntiñas, *et al.*, (2013), према којима је осетљивост органске материје у земљишту на промене температуре већа при нижем садржају влаге у земљишту. Kong и Six (2010) и Rasse (2005) такође су потврдили да је

угљеник у земљишту пореклом од подземне биомасе стабилнији у односу на онај из надземне, јер ризосфера корена активно учествује у разлагању органске материје (Schmidt *et al.*, 2011), што такође доприноси већој минерализацији органске материје у земљиштима на Златару где су услови температуре и влаге били приближнији условима лабораторијске инкубације.

У овом истраживању упркос истој травној заједници и типу земљишта на оба локалитета, дистрибуција лабилног угљеника, мерена као потенцијално минерализујући угљеник (РМС) међу огледним пољима на оба локалитета указује да је минерализација органске материје у земљишту под већим утицајем фактора који су везани за својства земљишта и утицај испаше.

Корелације између биолошких параметара потврђују хипотезу да су различити фактори утицали на количину РМС и респирацију земљишта (Табела 5). На Златару, где је подземна биомаса значајно већа него на Старој планини, уочена је значајна позитивна корелација између подземне биомасе и респирације земљишта ($r=0,859^{**}$) и између подземне биомасе и РМС ($r=0,649^{*}$), док је на Старој планини забележена статистички значајна корелација између укупног С и РМС ($r=0,898^{**}$). Ово указује да се извори супстрата за микробиолошко разлагање разликују на ова два локалитета.

Значајне разлике у великим резервама укупног и лабилног угљеника у земљишту је тешко одредити за кратак период трајања овог истраживања. Мало повећање количине угљеника у земљишту може, међутим, довести до великог повећања респирације земљишта, ако је угљеник расподељен у једној или више високо лабилних фракција у земљишту (Thompson *et al.*, 1996). Такође, према Hafner *et al.* (2012) што је већа заступљеност угљеника у подземној биомаси, већа је количина асимилираног угљеника у земљишту, што је резултат позитивног ефекта умерене испаше на резерве и секвестрацију угљеника, као што је на Златару. Према Fan *et al.* (2013) ограђени пашњаци у циљу искључивања испаше утицали су да укупни угљеник у надземној биомаси буде значајно већи него на пашњацима на којима се врши испаша, па овај приступ предлажу као алтернативни приступ стимулisanу акумулације угљеника у земљишту алпјских ливада.

ЗАКЉУЧАК

Резерва С у земљишту је већа на Старој планини, а укупна резерва С у биомаси је већа на Златару, што је вероватно резултат тога да се у земљишту на Златару процес минерализације органске материје одвија интензивније *in situ*, тиме и испирање лаке фракције органске материје. На Златару, упркос већој количини подземне биомасе, укупна резерва С била је знатно нижа него на Старој планини.

Закључак прелиминарних истраживања указује да резерве лабилног угљеника нису статистички значајно различите, иако се извори лабилног угљеника разликују између проучаваних локалитета. Дистрибуција лабилног угљеника на оба локалитета указује да је минерализација органске материје у земљишту под већим утицајем фактора који су везани за својства земљишта и утицај испаше.

Добијени резултати указују на потребу за спровођењем детаљних истраживања карактеристика и динамике органског угљеника, као и процесе трансформације његових фракција у циљу бољег разумевања његових промена у природним условима планинских ливадских заједница.

Напомена: Истраживање је спроведено у оквиру пројекта „Резерве угљеника у земљиштима травних екосистема високопланинских региона Србије“ заведеног под бројем 404-02-216/10/2015-15 који је финансиран од стране Министарства пољопривреде и заштите животне средине Републике Србије и пројекта „Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање – ИИИ 43007“ финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

LITERATURA

- Castellano M.J., Mueller K.E., Olk D.C., Sawyer J.E., Six J. (2015): Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept. *Global Change Biology* 21, (3200–3209)
- Conant R.T. (2010): Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems A technical report on grassland management and climate change mitigation. FAO, Rome
- Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A., Totterdell I.J. (2000): Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*. 408(6809), (184-7)
- Ćirić A., Obradović Z., Novković D., Popević A., Karajčić L.J., Jović B., Serdar R. (1977): Geological booklet of Basic Geologic Map 1:100 000 for Prijepolje, Beograd
- Dragović R., Filipović I., Nikolić J. (2009): Iskristivost prirodno-geografskih uslova Zlatibora i Zlatara za razvoj ekoturizma i zdravstvenog turizma. *Bulletin of the Serbian geographical society* 89(1), (115-128)
- Enger H., Riehm H. (1958): Die Ammoniumlaktatesigsäure-Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in Karbonathaltigen Böden (In German). *Agrochimicae* III (1), (49-65)
- Eswaran H., van Den Berg E., Reich P. (1993): Organic Carbon in Soils of the World. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, (192-194)
- Fan T., Hou X., Shi H., Shi S. (2013): Effects of grazing and fencing on carbon and nitrogen reserves in plants and soils of alpine meadow in the three headwater resource regions. *Russian J of Ecology* 44(1), (80-88)
- FAO (2011): The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.
- Fischin A., et al., 2007. Ecosystems, their properties, goods and services, In *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (eds Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P. van der Linden P.J., Hanson C.E) 211-272, Cambridge University Press.
- Funakawa S., Shinjo H., Kadono A., Kosaki T. (2010): Factors controlling in situ decomposition rate of soil organic matter under various bioclimatic conditions of Eurasia. *Pedologist* 53, (50-66)
- Gregorich E.G., Jansen H.H. (1996): Storage of soil carbon in the light fraction and macro organic matter. In: Carter, M.R. and Stewart B.A. (Eds.) *Advances in Soil Science. Structure and*

- Organic Matter Storage in Agricultural Soils. CRC Lewis Publisher, Boca Raton, (167-190)
- Guntiñas M.E., Gil-Sotres F. Leirós M.C., Trasar-Cepeda C. (2013): Sensitivity of soil respiration to moisture and temperature, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (2), (445-461)
- Hafner S., Unteregelsbacher S., Seeber E., Lena B., Xu X., Li X., Guggenberger G., Miehe G., Kuzyakov Y. (2013): Effect of grazing on carbon stocks and assimilate partitioning in a Tibetan montane pasture revealed by ^{13}C pulse labeling. *Global Biology Change* 18, (528-538)
- Haynes R.J. (2000): Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32, (211-219)
- Hissink D.J. (1925): Base exchange in soils. *Transactions of the Faraday Society* 20, (551-556)
- Hungate B.A., Holland E.A., Jackson R.B., Chapin F.S., Mooneyk H.A., Field C.B. (1997): The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature* 388, (576-579)
- IPCC (2003): Good practice guidance for land use, land-use change and forestry (Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F eds). IPCC, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan, pp.593
- ISO-11261:1995. Soil quality - Determination of total nitrogen, modified Kjeldahl method. International organization for standardization, Geneva, Switzerland, pp. 4.
- ISO-11277:1998. Soil quality - Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation. International organization for standardization, Geneva, Switzerland, pp. 34
- ISO-11272:1993. Soil quality - Determination of dry bulk density. International organization for standardization, Geneva, Switzerland, pp. 10.
- Janzen H.H., (1987): Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67, (845-856)
- Jenkinson D.S., (1988): Soil organic matter and its dynamics. In Russels' Soil Condition and Plant Growth (A. Wild, Ed.), 11th Edn. Longman, New York, (564-607)
- Jia B.R., Zhou G.S. (2009): Integrated diurnal soil respiration model during growing season of a typical temperate steppe: Effects of temperature, soil water content and biomass production. *Soil Biology & Biochemistry* 41, (681-686)
- Jones M.B., Donnelly A. (2004): Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO_2 . *New Phytologist*. 164(3), (423-439)
- Kappen H. (1929): Die Bodenaziditat. Springer Verlag, Berlin, Germany [in German]
- Kong A.Y.Y., Six J. (2010): Tracing root vs. residue carbon into soils from conventional and alternative cropping systems. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 74, (1201-1210)
- Krstić B., Kalenić M., Divljan M., Maslarević L.J., Djordjević M., Dolić D., Antonijević I. (1970): Geological booklet of Basic Geologic Map 1:100 000
- Lal R. (2009): Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science* 60, (159-168)
- Luo Y., Zhou X. (2006): Soil Respiration and the Environment. Elsevier publishing
- Mišić V. (ed) (1978): Biljne zajednice i staništa Stare planine [Vegetation communities and habitats of Stara planina Mt.] Serbian Academy of Sciences and Arts Belgrade special edition [in Serbian]
- Nelson D.W., Sommers L.E. (1996): Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (Eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical and microbiological properties*. SSSA, Madison, WI
- Nosberger J., Blum H., Fuhrer J. (2000): Crop ecosystem response to climatic changes: Productive grasslands. In Reddy K.R., Hodges H.F. (eds). *Climate Change and Global Crop productivity*, Wallingford, UK, New York, NY CABI Publisher (271-291)
- Rasse D.P., Rumpel C., Dignac M.F. (2005): Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil* 269, (341-356)
- Ravindranath N.H., Ostwald M. (2008): Carbon Inventory Methods – Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. *Advances in Global Change Research* 29, (149-156)
- RHOS (2011): Meteorološki godišnjak [Meteorological annual reports]. Republic Hydrometeorological Institute of the Republic of Serbia

- logical Office of Serbia, Belgrade, Serbia. [in Serbian]
- Ristić R.**, Kašanin-Grubin M., Radić B., Nikić Z., Vasiljević N. (2012): Land degradation in ski resort "Stara planina". *Environmental Management* 49(3), (580-592)
- Saiz G., Byrne K.A., Butterbach-Bahl K., Kiese R., Blujdea V., Farrell E.P. (2006): Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland. *Global Change Biology* 12, (1007–1020)
- Saljnikov-Karbozova E., Funakawa Sh., Akhmetov K., Kosaki T. (2004): Soil organic matter status of Chernozem soil in North Kazakhstan: effects of summer fallow. *Soil Biology and Biochemistry* 36, (1373-1381)
- Saljnikov E., Čakmak D., Muhanbet A., Kresović M. (2014): Biological indices of soil organic matter in long term fertilization experiment. *Zemljište i biljka* 63 (2), (11-20)
- Saljnikov E., Čakmak D., Kostić Lj., Maksimović S. (2009): Labile fractions of soil organic carbon in Mollisol from different climatic regions. *Agrochimica*, LIII(6), (376-385)
- Saljnikov E., Rahimgalieva S., Raymbek A., Tosic S, Mrvic V., Sikiric B., Pachikin K. (2015): Effect of fallowing on soil organic matter characteristics on wheat monoculture in arid steppes of northern Kazakhstan. *Zemljište i Biljka* 64(2), (17-26)
- Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I., Kleber M., Kogel-Knabber I., Lehmann J., Manning D., Nannipieri P., Rasse D., Weiner S., Trumbore S. (2011): Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, (49-56)
- Scurlock J.M.O., Hall D.O. (1998): The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology* 4, (229-233)
- Standard Operating Procedure 2034:1994: Plant biomass determination. SERAS, (1-5)
- SPSS Inc., (2007): SigmaPlot, Programming guide, Chicago, IL
- Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Selvaradjou S., Gallego J. (2005): Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils of European Union, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR 21576 EN
- Thomey M.L., Collins S.L., Vargas R., Johnson J.E., Brown R.F., Natvig D.O. (2011): Effect of precipitation variability on net primary production and soil respiration in a Chihuahuan Desert grassland. *Global Change Biology* 17, (1505–1515)
- Thompson M. V., Randerson J. T., Malmström C. M., Field C. B. (1996): Change in net primary production and heterotrophic respiration: how much is necessary to sustain the terrestrial sink? *Global Biogeochem. Cycles* 10, (711–726)
- Wang Z., Ji L., Hou X., Schellenberg M.P., Xiujun W. (2016): Soil Respiration in Semiarid Temperate Grasslands under Various Land Management. *PLoS One* 11(1): e0147987
- WRB - World reference base for soil resources (2006): Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla 00100 Rome, Italy

SOIL CARBON POOLS IN TWO NATURAL GRASSLANDS OF SERBIAN HIGHLANDS

Dr Elmira Saljnikov, principal research fellow, Soil Science Institute, Belgrade

Dr Sara Lukić, assistant professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry (sara.lukic@sfb.bg.ac.rs)

MSc Predrag Miljković, teaching assistant, University of Belgrade - Faculty of Forestry

Mr Nikola Koković, principal technical associate, Soil Science Institute, Belgrade

Dr Veljko Perović, research associate, Institute for Biological Research "Sinisa Stankovic", University of Belgrade

Dr Dragan Čakmak, senior research associate, Institute for Biological Research "Sinisa Stankovic", University of Belgrade

Dr Snežana Belanović Simić, full professor, University of Belgrade - Faculty of Forestry

Abstract: Grasslands are a major player in the global carbon cycle, although carbon stocks in grasslands are influenced by human activities and natural disturbances. The aim of this study is to determine differences in carbon stock on two test areas of grassland ecosystem in the highlands of Stara Planina and Zlatar Mountains (Serbia). The investigated sites are natural mountain grasslands of the same vegetation community (*Agrostietum capillaris* Pavl. 1955) and soil type (Umbric Leptosol (Dystric) and Haplic Cambisol (Dystric)), but with different grazing intensity. Aboveground and belowground biomasses were measured in each sample plot, and soil was sampled at fixed depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm. The estimation of C stock and the rate of soil C accumulation were determined by the Tier 2 method IPCC (2003). Carbon mineralization potentials were determined via sequential incubation procedure in the laboratory conditions. According to the obtained results, the greater amount of precipitation on Mt. Stara Planina resulted in a greater accumulation of aboveground biomass, which was subjected to a greater decomposition *in situ*, thus showing a lower amount of PMC *in vitro*. In addition, potentially mineralizable carbon (PMC) among the sample plots from both sites indicates that the mineralization of soil organic matter was more influenced by the factors related to the soil characteristics, climatic conditions and grazing.

Key words: grasslands, biomass carbon stock, soil carbon stock, carbon mineralization, potentially mineralizable carbon

INTRODUCTION

The largest carbon exchange takes place between the atmosphere and plants, therefore the terrestrial ecosystems play a key role in the global carbon cycle. The way of managing grassland ecosystems in order to accumulate carbon and increase the yield, reduction in sensitivity to nitrogen inputs, make the whole ecosystem more resistant to climate change (LaI, 2009; FAO, 2011).

Biomass in grassland systems, being predominantly herbaceous, is a small, transient carbon pool (compared to forest) and hence soils constitute the dominant carbon stock (Conant, 2010). Global estimates of the relative amounts of C in different vegetation types suggest that grasslands

probably contribute >10% of the total biosphere storage (Eswaran *et al.*, 1993; Nosberger *et al.*, 2000). The aboveground biomass of grassland ecosystems can accumulate relatively small carbon stock in comparison to that in the soil. Soils store at least three times as much carbon (in SOM) as is found in either the atmosphere or in living plants (Fischin *et al.*, 2007). Grasslands with their belowground carbon storage are a major player in the global carbon cycle, although carbon stocks, productivity and turnover time are subject to considerable uncertainty (Scurlock & Hall, 1998).

An unprotected C pool in SOM consists of both the light fraction and/or the particulate organic matter (POM) fraction, as well as microbial debris (Jones & Donnelly, 2004) that are highly labile organic matter pools and the variation in the light

fraction pool is the best indicator of management-induced changes in SOM as shown by many researchers (Jenkinson, 1988; Gregorich *et al.*, 1996; Haynes, 2000, Saljnikov, 2004; Luo & Zhou, 2006; Saljnikov *et al.*, 2015; Funakawa *et al.*, 2010). Because almost all the labile C in grassland ecosystems is in the soil, and our entire understanding of processes occurring here is still relatively weak, the emphasis was made in identifying the total carbon stock and labile carbon sources via soil respiration and mineralization of organic matter.

Soil respiration is the second largest carbon (C) flux between terrestrial ecosystems and the atmosphere in the global C cycle (Jia & Zhou, 2009; Thomey *et al.*, 2011), and plays an important role in regulating the soil carbon pool and ecosystem C-cycling (Cox *et al.*, 2000; Saiz *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2016).

The paper presents the results of a pilot project intended to estimate and compare carbon stock on two test areas of grassland ecosystem in the highlands of Stara Planina and Zlatar Mountains in Serbia, determined by measuring the aboveground and belowground biomass and carbon stock, total and labile carbon of SOM. The main aim of the research was to find out the influence of land use on carbon storage and carbon allocation in grassland carbon pools, in the two natural mountain grassland sites, under similar climatic and pedological conditions and different grazing intensity, and the soil factors that are responsible for those differences.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was conducted in highland grasslands of Mt. Zlatar and Mt. Stara planina. Mt. Zlatar is located in southwest Serbia and it belongs to the mountain range of the Dinarides (Fig. 1). The average height of Mt. Zlatar is 1200-1400 m asl. Transitional climate type of Mt. Zlatar results from the interaction, both of maritime and continental air masses. Mean annual air temperature is 7.1°C and total annual precipitation is 751.5 mm based on the observations of the 1990-2010 period (RHOS,

2010 – MMS Sjenica). The massif of Mt. Zlatar mainly consists of limestone, sandstone, shales and flint (Ćirić *et al.*, 1977) and Umbric Leptosol (Dystric) and Haplic Cambisol (Dystric) (WRB, 2006). The vegetation of Mt. Zlatar is conditioned by the climate and characterized by the presence of frigidophilic spruce and mesophilic beech and beech-fir forest types. Pastures are spread over an area of 24.31% and meadows on 15.45% of the area of Mt. Zlatar (Dragović *et al.*, 2009). Grasslands of Mt. Zlatar are characterized by a high-mountain community of *Agrostietum capillaris* Pavl. 1955 which alternates with other types of grassland communities in the zone of beech, beech-fir and spruce forests.

Mt. Stara planina is located in southeast Serbia on the border between Serbia and Bulgaria as the extension of the Carpathian mountain range (Fig. 1). The area has a mountain climate with mean annual air temperature of 6.1°C and mean annual

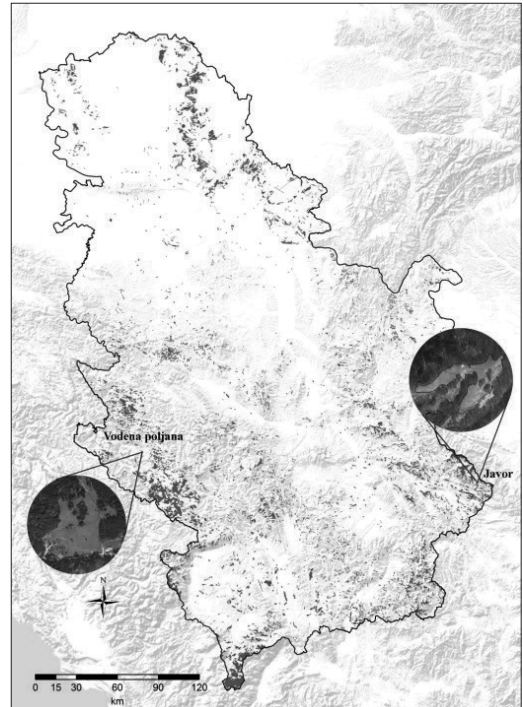


Figure 1. Spatial distribution of grasslands in Serbia with the marked study area (Mt. Zlatar and Mt. Stara planina)

precipitation of 1090 mm (Ristić, 2012). Mt. Stara planina is overlaid with conglomerates, sandstones, argillaceous schist and limestone (Krstić *et al.*, 1970). Unlike Mt. Zlatar, there is altitudinal zonation of forest vegetation in Mt. Stara planina. The most common forest type at altitudes 1200 to 1550 m asl. is Montane beech forest (*Fagetum moesiacaе montanum* Jov. 1953). Grassland communities have been developed in accordance with the height gradient - from mountain meadows and pastures over the mountain and sub-alpine to Alpine mountain pastures (Mišić *et al.*, 1978). The dominant grassland community is *Agrostietum capillaris* Pavl. 1955.

Data collection

In total eight sample plots were established in the highland pastures in the community of *Agrostietum capillaris* in Mt. Zlatar (Z1, Z2, Z3 and Z4) and Mt. Stara planina (SP1, SP2, SP3 and SP4) (Figure 1). The altitude of the sample plots varied from 1296 to 1479 m asl. (Table 1). The investigated soil types were Leptosol and Cambisol (WRB, 2006) formed on flint and schists. Average bulk densities of the investigated soils were 0.95g cm⁻³ (Mt. Zlatar) and 0.80g cm⁻³ (Mt. Stara planina). In investigated pastures of Mt. Zlatar moderate free grazing by goats has occasionally been present, while investigated pastures on Mt. Stara planina were undisturbed by grazing or other activities such as clipping and mowing.

Biomass and C stock

Aboveground biomass (net primary production ANPP) was determined in July 2015 according to

LULUCF Guidelines (IPCC, 2003) applying the destructive “clip and weight” method (SOP2034: 1994). For each site four 0.5 m² quadrates were sampled. Aboveground biomass within the quadrates was harvested to the ground level (living aboveground biomass, standing litter and ground litter), then the living aboveground biomass was separated from the standing litter of the previous year and ground litter, pooled by plot and weighted. Harvested biomass was oven-dried at 70°C to constant weight.

Belowground biomass (net primary production BNPP) was measured in each sample plot using the soil core method (Ravindranath & Ostwald, 2008) by 2 soil cores of 10.3-cm diameter in 10-cm depth layers to 30 cm within each quadrate. Belowground biomass (roots, rhizomes etc.) contained within the excavated soil was separated with water through a 0.3-mm mesh sieve. The samples of belowground biomass were oven dried at 70°C to constant weight.

Aboveground and belowground biomass total C was measured with an elemental CNS analyzer, Vario model EL III (ELEMENTAR Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany; Nelson & Sommers, 1996).

Soil properties

Four soil profiles were opened on each sample plot (a total of eight profiles), with soil sampling carried out under the Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils (Stolbovoy *et al.*, 2005), at fixed depths of 0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm. The main physical and chemical soil properties were determined on air-dried samples using the following methods: the pipette method was used for

Table 1. Geographic locations of the studied sites

Site	Coordinates	Area ha	Altitude m a.s.l.	Exposure
Zlatar	43°14'20'' - 43°14'33'' N and 22°51'37'' - 22°52'06'' E	5.16	1438-1470	E
Stara planina	43°24'17'' - 43°24'27'' N and 19°48'36'' - 19°48'4'' E	8.08	1275-1428	W-SW

particle size analysis (ISO 11277:1998); bulk density (BD) was measured by drying the cores at 105°C to a constant weight (ISO 11272:1993); particle density (ISO 11508:2002); soil pH was determined using a glass electrode in a 1:5 (volume fraction) suspension of soil in water (pH in H₂O) (ISO 10390:2007); the hydrolytic acidity (cmol kg⁻¹) (extraction by CH₃COONa, titration with 0.1M NaOH) and the sum of exchangeable basis (S)(cmol kg⁻¹) (extraction by 0.1M HCl, titration with 0.1M NaOH) was determined using Kappen's method (Kappen, 1929), and the total capacity of cation adsorption (T)(cmol kg⁻¹) and degree of base saturation (V%) – were calculated (Hissink, 1925). Soil organic carbon (C) was measured by the Tjurin method (Nelson & Sommers, 1996) and total nitrogen (N) by the Kjeldahl method (ISO 11261:1995). After extraction, the available P and K were determined by the Al-method of Egner-Riehm (Egner & Riehm, 1958). To ensure reliable results all the analyses were performed in 2 replications.

Soil respiration

Carbon mineralization potentials were determined via sequential incubation procedure in laboratory conditions under the controlled moisture and temperature environment for 2-, 4-, 6-, 8-, 10-weeks as described by Janzen (1987). Soil respiration was measured after trapping the evolved CO₂ by 1M NaOH and by titration of the remained NaOH by HCl.

Potentially mineralizable carbon (C₀) was obtained after fitting the data of mineralized C to the first order kinetic model (SPSS Inc., 2007): $C_{min} = C_0 * (1 - \exp(-k * t))$, where, C_{min} is an experimental value of mineralized C at a given time (t), C₀ is the value of potentially mineralizable C that was calculated after fitting the curve, k is the mineralization rate constant.

Annual litter input to soil, excluding root exudation and turnover, can be determined as aboveground plant production plus standing root mass. Belowground respiration includes total carbon lost through decomposition of soil organic matter and root respiration (Hungate *et al.*, 1997). The loss of carbon through respiration measured repeatedly throughout the 90 days in a laboratory incubation assessment.

RESULTS

The main soil chemical properties are given in Table 2. The studied soils from both sites showed moderate to very low pH values with low base saturation. Soil acidity in water solution was not statistically different between the studied sites. Generally, cation absorption capacity and content of humus in 0-10 and 10-20 cm soil layer was higher in Stara Planina than in Zlatar. The content of soil total C and N were significantly higher in Stara Planina than in Zlatar. The contents of plant available P and K were not statistically different in two locations, where the content of P was low, and K content is medium in both locations.

By mechanical composition, the soil from Mt. Zlatar showed a higher content of clay fraction than the soil from Mt. Stara Planina (Table 2). Mean particle density in the 0-10 cm soil layer was 64% in the Mt. Zlatar soils, and 66% in the Mt. Stara planina soils.

The aboveground biomass in the Mt. Zlatar sites ranged from 3.09 (plot 3) to 4.11 Mg ha⁻¹ (plot 1). The aboveground biomass in the Mt. Stara Planina sites ranged from 3.93 (plot 4) to 5.88 Mg ha⁻¹ (plot 1). A lower amount of aboveground biomass was recorded in the Mt. Zlatar sites in the plots with grazing (Table 3).

Soil respiration and the amount of potentially mineralizable carbon (PMC) in the two sites did not statistically differ. The rate of organic carbon mineralization was higher in the Mt. Zlatar soils compared to the Mt. Stara Planina soils. The highest amounts of PMC were recorded in site 3 on Mt. Stara Planina and site 4 on Mt. Zlatar, while the highest rates of mineralization were recorded in sites 1 and 3 on Mt. Zlatar and site 1 on Mt. Stara Planina (Table 3).

The total carbon stock in biomass was higher in the Mt. Zlatar sites than in the Mt. Stara Planina soils, but that was not statistically confirmed, while carbon stock in the soils from the two sites significantly differed, showing higher C reserves in the soils of Mt. Stara Planina (Table 4). This difference determined the overall significantly higher total carbon stock in the Mt. Stara Planina soils than in the Mt. Zlatar soils.

Table 2. The main chemical soil properties of the studied sites

Locality	Mt. Zlatar			Mt. Stara planina		
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
Silt+Clay %	53.05±5.56	55.975±5.16	56.45±7.9	46.175±5.08	47.55±2.22	-
BD (gcm ⁻³)	0.88±0.2	0.95±0.1	1.02±0.1	0.72±0.2	0.82±0.1	0.88±0.2
D (g cm ⁻³)	2.42±0.5	2.62±0.2	2.45±0.2	2.15±0.2	2.32±0.2	2.32±0.2
pH H ₂ O	5.28±0.2	5.24±0.2	5.32±0.3	5.20±0.2	5.18±0.2	5.21±0.2
pH CaCl ₂	4.39±0.3	4.30±0.2	4.29±0.3	4.49±0.1	4.34±0.2	4.39±0.2
T (cmol kg ⁻¹)	36.51±5.9	29.72±4.9	26.09±4.9	48.42±6.1*	41.42±7.4*	35.76±4.9*
V %	37.25±9.2	32.24±9.6	30.45±11.6	37.29±6.5	31.88±6.2	28.31±7.9
Humus %	10.80±3.2	6.02±2.1	3.24±1.5	15.55±4.1	10.94±2.9*	6.86±1.6*
C %	6.27±1.9	3.49±1.2	1.88±0.9	9.02±2.4	6.34±1.7*	3.98±0.9*
N %	0.498±0.19	0.365±0.10	0.192±0.13	0.863±0.10*	0.555±0.13	0.468±0.17*
C/N	13.18±4.0	9.44±1.0	6.40±4.5	10.33±1.5	11.43±1.5	8.84±1.6
P2O5 (mg/100 g)	1.24±0.9	0.26±0.2	0.00±0.0	1.86±1.4	0.30±0.3	0.28±0.3
K2O (mg/100 g)	18.25±14.5	13.72±14.1	7.10±4.0	26.02±11.5	15.06±7.3	9.48±6.6

Table 3. Above and below-ground biomass and soil carbon fractions in the 0-10 cm soil layer

Sample plots	Aboveground biomass Mg·ha ⁻¹	Belowground biomass Mg·ha ⁻¹	CO ₂ -C (0-20 cm), mg·kg ⁻¹ air dry soil	Total C, %	PMC (0-20 cm), mg·kg ⁻¹ air dry soil	Rate constant k
Mt. ZLATAR						
1	4.11	23.10	518.45	7.71	12403.15	0.121
2	3.37	42.94	706.46	7.11	19279.04	0.081
3	3.09	12.35	575.33	3.54	15021.21	0.108
4	3.68	33.77	919.91	6.70	31655.30	0.067
Average	3.56±0.43	28.04±13.24	680,038	6.19	19589.67	0.094
Mt. STARA PLANINA						
1	5.88	27.11	656.80	6.58	16795.22	0.094
2	4.46	17.04	888.94	7.62	28285.53	0.075
3	4.44	16.81	1,009.00	10.13	36227.03	0.066
4	3.93	6.18	610.86	8.48	21460.04	0.081
Average	4.67±0.83*	16.79±8.55	791.368	8.20	25691.95	0.079

Table 4. Carbon stock in the two studied sites

Profiles	Carbon stock in biomass	Soil (0-40cm)	Total C stock
	Mg ha ⁻¹		
Mt. ZLATAR			
1	6.56	96.94	103.50
2	14.89	166.71	181.59
3	5.77	76.33	82.101
4	10.43	157.24	167.66
Aver.	9.41±0.42	124.304±44.5	133.71±48.4
STARA PLANINA			
1	12.74	158.56	171.29
2	7.39	173.98	181.37
3	7.08	191.91	198.99
4	3.68	202.15	205.83
Aver.	7.74±3.74	181.652±19.3	189.37±15.85

Table 5. Correlation coefficients between the biological soil parameters

	AGB/ CO ₂	AGB/ PMC	BGB/CO ₂	BGB / PMC	TC/ PMC	CO ₂ / PMC	CO ₂ /TC
Zlatar	0.017	-0.053	0.859**	0.649*	0.227	0.947***	0.437*
Stara Planina	-0.180	-0.540	0.135	-0.281	0.898**	0.903**	0.651*

ABG -aboveground biomass; CO₂ – respiration; BGB – belowground biomass; TC-total carbon; PMC – potentially mineralizable carbon (labile carbon).

DISCUSSIONS

The differences in the content of labile carbon in the Mt. Stara Planina and Mt. Zlatar soils can be attributed to the differences in the amount of aboveground and belowground biomass, which resulted in the different composition of the light fraction OM. Grasslands contain a much higher belowground biomass than aboveground biomass, but as a rule the composition of the aboveground grass biomass is a much easier source for microbial attack after their deposition into the soil when it becomes a part of soil organic matter. Soils from Mt. Stara Planina showed generally higher respiration under the controlled conditions, which might indicate higher microbial activity in these soils. In addition, more intense respiration resulted in a greater amount of measured labile carbon in the Stara Planina soils. Decomposition of SOM is a biological process. Therefore, changes in below-

ground carbon or substrate availability may alter microbial community composition and activity that in turn alters the decomposition rate and the type of organic matter that are decomposed (Schmidt *et al.*, 2011). This assumption is also confirmed by the soil C stock that was higher in the Stara Planina soils, and the total biomass C stock that was higher in the Mt. Zlatar soils (Table 4). This indicates that in the Mt. Zlatar soils, the soil organic matter mineralization processes was going on more intensively *in situ*, thus depleting the light fraction OM, which was reflected in the laboratory incubation measurement of labile C, where lower PMC and a higher mineralization rate constant were recorded.

Despite greater belowground biomass the content of total C was much lower in the Mt. Zlatar soils than in the Mt. Stara Planina soils. The accumulation and decomposition of soil organic matter primarily depend on moisture and temperature

and available substrate for soil microorganisms, where the labile carbon accumulation gradient increases from wet to dry and from cold to hot climate. In contrast, the gradient of accumulation of soil organic matter increases from dry to wet climate and from hot to cold climate (Saljnikov *et al.*, 2009). This is confirmed by the data from the two studied sites, of which Mt. Zlatar is characterized by higher temperatures and lower precipitation (7.1°C and 751.5 mm, respectively) compared to Mt. Stara Planina (6.1°C and 1090 mm). The higher amount of precipitation on Mt. Stara Planina resulted in a greater accumulation of aboveground biomass, which was subject to greater decomposition *in situ*, thus showing a lower amount of PMC *in vitro*. This is in accordance with the results of Guntiñas *et al.* (2013), who reported that the sensitivity of soil organic matter to temperature is higher at low soil moisture contents. Kong & Six (2010) and Rasse (2005) also reported that root-originated carbon resist in soil much longer than above-ground biomass and at the same time, root-derived substrate contains much of rhizosphere that actively decomposes the soil organic matter (Schmidt *et al.*, 2011), which might also aid the greater mineralization of SOM of the soils from Mt. Zlatar, when temperature and moisture conditions were favorable under laboratory incubation.

In our research despite the same vegetation and soil type of each site, the distribution of labile carbon, measured as potentially mineralizable carbon (PMC) among the sampled plots from both sites indicate that mineralization of soil organic matter was more influenced by the factors related to soil characteristics and grazing impact.

The correlations between biological soil parameters confirm the hypothesis that different factors influenced the amount of PMC and soil respiration (Table 5). In the Mt. Zlatar soils, where the belowground biomass was significantly higher than in the Mt. Stara Planina soils, significant positive correlations were found between belowground biomass and soil respiration and between belowground biomass and PMC, while in the Mt. Stara Planina soils, there was a correlation recorded between soil total carbon and PMC. This implies that the sources of substrate for microbiological decomposition were different between the sites.

Significant changes in the large pool of total and labile soil carbon are difficult to be detected over the short period of this experiment. Small increases in soil carbon can, however, lead to large increases in soil respiration if the carbon is delivered to one or more highly labile fractions in the soil (Thompson *et al.*, 1996). In addition to that, according to Hafner *et al.* (2012) the larger belowground C allocation of plant biomass, the larger the amount of recently assimilated C remaining in the soil, which is the result of a positive effect of moderate grazing on soil C stock and C sequestration, which is similar to the Zlatar site. According to Fan *et al.* (2013) fenced grasslands in order to exclude grazing, affected total carbon in aboveground biomass to be significantly higher than in grazed grasslands, and they also suggest this method as an alternative approach to sequester C to the soil in alpine meadow systems.

CONCLUSION

The soil C stock was higher in the Stara Planina soils, and the total biomass C stock was higher in the Zlatar soils, which could be the result of more intensive processes of organic matter mineralization in the Zlatar soils *in situ*, thus depleting the light fraction organic matter. In the Zlatar soils, despite greater belowground biomass the content of total C was much lower than in the Stara Planina soils. The main conclusion of the preliminary study implies that the amount of labile carbon stock was not statistically different, while the sources of labile carbon differ between the studied sites. The distribution of labile carbon, measured as potentially mineralizable carbon (PMC) from both sites indicate that the mineralization of soil organic matter was more influenced by the factors related to soil properties and grazing impact.

The obtained results suggest further detailed studies of organic carbon characteristics and dynamics, as well as the processes of transformation of organic carbon fractions for a better understanding of carbon transformations in natural mountain meadow associations.

Acknowledgement: The investigation was conducted through the project "Soil carbon stock in regions of highland grassland ecosystems of Ser-

bia” reference no. 404-02-216/10/2015-15 financially supported by the Ministry of Agriculture and Environmental Protection of the Republic of Serbia and the project “The Climate Change and Its Impact on the Environment - Monitoring, Adaptation and Mitigation” with reference number 043007 financially supported by Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia.

REFERENCES

- Castellano M.J., Mueller K.E., Olk D.C., Sawyer J.E., Six J. (2015): Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization, and the carbon saturation concept. *Global Change Biology* 21, (3200–3209)
- Conant R.T. (2010): Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems A technical report on grassland management and climate change mitigation. FAO, Rome
- Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A., Totterdell I.J. (2000): Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*. 408(6809), (184-7)
- Ćirić A., Obradović Z., Novković D., Popević A., Karajičić L.J., Jović B., Serdar R. (1977): Geological booklet of Basic Geologic Map 1:100 000 for Prijepolje, Beograd
- Dragović R., Filipović I., Nikolić J. (2009): Iskristivost prirodno-geografskih uslova Zlatibora i Zlatara za razvoj ekoturizma i zdravstvenog turizma. *Bulletin of the Serbian geographical society* 89(1), (115-128)
- Enger H., Riehm H. (1958): Die Ammoniumlaktatesigsäure-Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in Karbonathaltigen Böden (In German). *Agrochimicae* III (1), (49-65)
- Eswaran H., van Den Berg E., Reich P. (1993): Organic Carbon in Soils of the World. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, (192-194)
- Fan T., Hou X., Shi H., Shi S. (2013): Effects of grazing and fencing on carbon and nitrogen reserves in plants and soils of alpine meadow in the three headwater resource regions. *Russian J of Ecology* 44(1), (80-88)
- FAO (2011): The state of the world’s land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.
- Fischin A., et al., 2007. Ecosystems, their properties, goods and services, In *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (eds Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P. van der Linden P.J., Hanson C.E) 211-272, Cambridge University Press.
- Funakawa S., Shinjo H., Kadono A., Kosaki T. (2010): Factors controlling in situ decomposition rate of soil organic matter under various bioclimatic conditions of Eurasia. *Pedologist* 53, (50-66)
- Gregorich E.G., Jansen H.H. (1996): Storage of soil carbon in the light fraction and macro organic matter. In: Carter, M.R. and Stewart B.A. (Eds.) *Advances in Soil Science. Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC Lewis Publisher, Boca Raton, (167-190)
- Guntiñas M.E., Gil-Sotres F. Leirós M.C., Trasar-Cepeda C. (2013): Sensitivity of soil respiration to moisture and temperature, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (2), (445-461)
- Hafner S., Unteregelsbacher S., Seeber E., Lena B., Xu X., Li X., Guggenberger G., Miehe G., Kuzyakov Y. (2013): Effect of grazing on carbon stocks and assimilate partitioning in a Tibetan montane pasture revealed by ¹³C₂ pulse labeling. *Global Biology Change* 18, (528-538)
- Haynes R.J. (2000): Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 32, (211-219)
- Hissink D.J. (1925): Base exchange in soils. *Transactions of the Faraday Society* 20, (551-556)
- Hungate B.A., Holland E.A., Jackson R.B., Chapin F.S., Mooney H.A., Field C.B. (1997): The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature* 388, (576-579)
- IPCC (2003): Good practice guidance for land use, land-use change and forestry (Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F eds). IPCC, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan, pp.593
- ISO-11261:1995. Soil quality - Determination of total nitrogen, modified Kjeldahl method. International organization for standardization, Geneva, Switzerland, pp. 4.

- ISO-11277:1998. Soil quality - Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation. International organization for standardization, Geneva, Switzerland, pp. 34
- ISO-11272:1993. Soil quality - Determination of dry bulk density. International organization for standardization, Geneva, Switzerland, pp. 10.
- Janzen H.H., (1987): Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67,(845-856)
- Jenkinson D.S., (1988): Soil organic matter and its dynamics. In *Russels' Soil Condition and Plant Growth* (A. Wild, Ed.), 11th Edn. Longman, New York, (564-607)
- Jia B.R., Zhou G.S.(2009):Integrated diurnal soil respiration model during growing season of a typical temperate steppe: Effects of temperature, soil water content and biomass production.*Soil Biology & Biochemistry* 41, (681–686)
- Jones M.B., Donnelly A. (2004): Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist*. 164(3),(423–439)
- Kappen H.(1929): *Die Bodenaziditat*. Springer Verlag, Berlin, Germany [in German]
- Kong A.Y.Y., Six J.(2010): Tracing root vs. residue carbon into soils from conventional and alternative cropping systems.*Soil Sci. Soc. Amer. J.* 74,(1201-1210)
- Krstić B., Kalenić M., Divljan M., Maslarević L.J., Djordjević M., Dolić D., Antonijević I. (1970): Geological booklet of Basic Geologic Map 1:100 000
- Lal R.(2009): Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science* 60, (159-168)
- Luo Y., Zhou X. (2006): *Soil Respiration and the Environment*. Elsevier publishing
- Mišić V. (ed) (1978): *Biljne zajednice i staništa Stare planine* [Vegetation communities and habitats of Stara planina Mt.] Serbian Academy of Sciences and Arts Belgrade special edition [in Serbian]
- Nelson D.W., Sommers L.E. (1996): Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (Eds.) Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical and microbiological properties*. SSSA, Madison, WI
- Nosberger J., Blum H., Fuhrer J. (2000): Crop ecosystem response to climatic changes: Productive grasslands. In *Reddy K.R., Hodges H.F. (eds). Climate Change and Global Crop productivity*, Wallingford, UK, New York, NY CABI Publisher (271-291)
- Rasse D.P., Rumpel C., Dignac M.F. (2005): Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and Soil* 269, (341–356)
- Ravindranath N.H., Ostwald M.(2008): Carbon Inventory Methods – Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. *Advances in Global Change Research* 29, (149-156)
- RHOS (2011): *Meteorološki godišnjak* [Meteorological annual reports]. Republic Hydrometeorological Office of Serbia, Belgrade, Serbia. [in Serbian]
- Ristić R., Kašanin-Grubin M., Radić B., Nikić Z., Vasiljević N.(2012): Land degradation in ski resort "Stara planina". *Environmental Management* 49(3), (580-592)
- Saiz G., Byrne K.A., Butterbach-Bahl K., Kiese R., Blujdea V., Farrell E.P.(2006): Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland.*Global Change Biology*12, (1007–1020)
- Saljnikov-Karbozova E., Funakawa Sh., Akhmetov K., Kosaki T. (2004): Soil organic matter status of Chernozem soil in North Kazakhstan: effects of summer fallow. *Soil Biology and Biochemistry*36, (1373-1381)
- Saljnikov E., Čakmak D., Muhanbet A., Kresović M. (2014): Biological indices of soil organic matter in long term fertilization experiment. *Zemljište i biljka* 63 (2), (11-20)
- Saljnikov E., Čakmak D., Kostić Lj., Maksimović S. (2009): Labile fractions of soil organic carbon in Mollisol from different climatic regions. *Agrochimica*, LIII(6),(376-385)
- Saljnikov E., Rahimgalieva S., Raymbek A., Tosic S, Mrvic V., Sikiric B., Pachikin K. (2015): Effect of fallowing on soil organic matter characteristics on wheat monoculture in arid steppes of northern Kazakhstan. *Zemljiste i Biljka* 64(2), (17-26)
- Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I., Kleber M., Kögel-Knabber I., Lehmann J., Manning D., Nan-

- nipieri P., Rasse D., Weiner S., Trumbore S. (2011): Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, (49-56)
- Scurlock J.M.O., Hall D.O. (1998): The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology*4, (229-233)
- Standard Operating Procedure 2034:1994: Plant biomass determination. SERAS, (1-5)
- SPSS Inc., (2007): SigmaPlot, Programming guide, Chicago, IL
- Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Selvaradjou S., Gallego J.(2005): Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils of European Union, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR 21576 EN
- Thomey M.L., Collins S.L., Vargas R., Johnson J.E., Brown R.F., Natvig D.O.(2011):Effect of precipitation variability on net primary production and soil respiration in a Chihuahuan Desert grassland.*Global Change Biology*17, (1505–1515)
- Thompson M. V., Randerson J. T., Malmstrom C. M., Field C. B. (1996): Change in net primary production and heterotrophic respiration: how much is necessary to sustain the terrestrial sink? *Global Biogeochem. Cycles* 10, (711–726)
- Wang Z., Ji L., Hou X., Schellenberg M.P., Xiujun W. (2016): Soil Respiration in Semiarid Temperate Grasslands under Various Land Management. *PLoS One*11(1): e0147987
- WRB -World reference base for soil resources (2006): Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla 00100 Rome, Italy

