

Екол. Зашт. Живот. Сред.	Том 12	Број 1-2	Страна 9 - 20	Скопје 2009
Ecol. Prot. Env.	Tome	No	pp.	Skopje

ПОДЗЕМНА ФИТОМАСА И ПРОДУКЦИЈА ВО БУКОВИОТ ЕКОСИСТЕМ *Calamintho grandiflorae-Fagetum* ВО НАЦИОНАЛНИОТ ПАРК „МАВРОВО“. V. ПОДЗЕМНА ПРОДУКЦИЈА ВО КАТОТ НА ДРВЈАТА И ГРМУШКИТЕ

Славчо ХРИСТОВСКИ¹, Љупчо МЕЛОВСКИ¹, Марјана ШУШЛЕВСКА² и Љупчо ГРУПЧЕ³

¹Институт за биологија, Природно-математички факултет, Скопје

²Фармахеџ, Скопје

³Македонско еколошко друштво, Скопје

ИЗВОД

Христовски, С., Меловски, Љ., Шушлевска, М., Групче, Љ. (2009). Подземна фитомаса и продукција во буковиот екосистем *Calamintho grandiflorae-Fagetum* во Националниот парк „Маврово“. V. Подземна продукција во катот на дрвјата и грмушките. Екол. Зашт. Живот. Сред., Том 12, Бр. 1/2, 9-20.

Основна цел на овој труд е презентација на добиените резултати за подземната нето-примарна продукција во катот на дрвјата и грмушките во буковиот екосистем *Calamintho grandiflorae-Fagetum* во Националниот парк „Маврово“ за периодот 1997-2005 година. Експериментално е определен годишниот прираст на крупните корења, а продукцијата на подземниот опад и продукцијата на ситните корења се проценети врз база на познати математички модели.

Годишниот прираст во катот на дрвјата изнесуваше 1032,2 kg·ha⁻¹·год.⁻¹ што е во рамките на варирањето на оваа вредност во европски рамки. За грмушките оваа вредност е многу помала и изнесува 4,61 kg·ha⁻¹·год.⁻¹.

Годишниот прираст е прикажан одделно за пенот и шест дебелински фракции (>10 cm; 5-10 cm; 3-5 cm; 1,5-3,0 cm; 0,5-1,5 cm и 0,1-0,5 cm) за дрвјата и грмушките.

Процентата подземна нето-примарна продукција во катот на дрвјата изнесува 5930,3 kg·ha⁻¹·год.⁻¹, а за грмушките само 19,77 kg·ha⁻¹·год.⁻¹.

Во трудот е дадена и преглед на методите за определување на продукцијата на ситни корења.

Клучни зборови: бука (*Fagus sylvatica*), шумски екосистем, подземна продукција, крупни корења, ситни корења.

ABSTRACT

Hristovski, S. Melovski, Lj., Šušlevska, M., Grupče, Lj. (2009). Belowground phytomass and production in the beech ecosystem *Calamintho grandiflorae-Fagetum* in Mavrovo National Park. V. Belowground production in the tree and shrub layers. Ecol. Prot. Env., Tome 12, No 1/2, 9-20.

The main goal of the article is presentation of the results for belowground net-primary production in tree and shrub layers of the investigated beech ecosystem *Calamintho grandiflorae-Fagetum* in Mavrovo National Park in the period 1997-2005. Annual increment of coarse roots was estimated by field research while the belowground litter production and fine root production were calculated on the basis of mathematical models.

The annual increment in the tree layer (1032.2 kg·ha⁻¹·y⁻¹) was in the frames of the European average. Annual increment in the shrub layer was significantly lower - 4.61 kg·ha⁻¹·y⁻¹. Annual increment is presented separately for the stump and six diameter classes of roots (>10 cm; 5-10 cm; 3-5 cm; 1.5-3.0 cm; 0.5-1.5 cm and 0.1-0.5 cm), both for trees and shrubs.

The calculated net-primary production was 5930.3 kg·ha⁻¹·y⁻¹ in the tree layer and 19.77 kg·ha⁻¹·y⁻¹ in the shrub layer.

Discussion on the methods for estimation of fine root production is included, as well.

Key words: beech (*Fagus sylvatica*); forest ecosystem, belowground production, coarse roots, fine roots.

Вовед

Во шумските екосистеми, подземната примарна продукција вообичаено се дели на две компоненти: продукција на крупните корења и продукција на ситните корења. Оваа поделба се базира на различните методолошки приоди, динамиката на ситните и крупните корења, различното физиолошко значење и големината на продукцијата.

Крупните корења кај дрвенестите растенија имаат најниски процентуални вредности на нивната продукција во однос на нивната фитомаса (~10 %). Повисоки се вредностите за грмушестите видови (~34 %), а највисоки се за тревестите растенија и ситните корења кај дрвјата (Gill & Jackson 2000).

НППп во шумските екосистеми е многу тешко да се процени заради макотрпноста на работата и проблемите во методолошкиот пристап. Една од причините за тоа е и непознавањето на количествата кои ги консумираат ризофагните организми како што претпоставуваат Fahey & Hughes (1994), Harris et al. (1980) врз база на мерењата на Schauer mann (1977 во: Harris et al. 1980) процениле дека масата која ја консумираат ризофагните организми (Nematoda, Cicada, Curculionidae) изнесува помалку од 0,1 % од НППп. Затоа, во студиите за НППп овој дел се целосно се занемарува (Hendrick & Pregitzer 1992).

Продукцијата на ситните корења е методолошки најпроблематичната компонента на примарната продукција во шумските екосистеми. Со ваква констатација започнуваат најголемиот дел од трудовите кои ја третираат оваа проблематика (Persson 1979; Burke & Raynal 1994; Gower et al. 1996; Gill & Jackson 2000; Hertel & Leuschner 2002; Dilustro et al. 2002; Johnsen et al. 2005).

Познавањето на односите помеѓу динамиката на корењата и достапноста на минералните материи во почвата е многу важно за голем број фундаментални прашања на терестричната екологија (West et al. 2004). Се смета дека продукцијата на ситните корења ќе биде чувствителна на многу фактори кои влијаат на глобално ниво (Aber et al. 1985), особено зголемувањето на концентрацијата на CO₂ во атмосферата и зголемената температура (Dilustro et al. 2002). Од друга страна, зголеменото количество на азотот (особено нитратите) може да доведе до пониски вредности за продукцијата (Aber et al. 1985). Заради чувствителноста на ситните корења кон надворешните фактори, нивната продукција може да се користи како мониторинг-индикатор на промените во животната средина (Hertel & Leuschner 2002).

Во шумските екосистеми, продукцијата на ситните корења зависи од температурата, влажноста и достапноста на минералните материи

(Vogt et al. 1986). Вредностите за продукцијата на ситните корења во северните области изнесуваат околу 13 % од нивната вкупна маса, 40 % во шумите од умерениот појас до 73 % во тропските зони (Gill & Jackson 2000).

Главна цел на овој труд е проценка на НППп во буковиот екосистем *Calamintho grandiflorae-Fagetum* во Националниот парк „Маврово“. Посебни задачи се: определување на НППп_д и НППп_г; определување на уделот на корењата од различни дебелински класи и определување на уделот на кората и дрвесината во нето-примарната продукција.

Методи

Подземната нето-примарна продукција во катот на дрвјата (НППп_д) беше определена како:

$$\text{НППп}_d = \Delta\text{Фп}_d + \text{Оп}$$

$\Delta\text{Фп}_d$ беше определен како разлика во подземните фитомаси на крупните корења во катот на дрвјата во две последователни мерења. Продукцијата на ситните корења не беше мерена во тек на истражувањата, па таа беше пресметана според препораките на Nadelhoffer & Raich (1992).

Оп не беше мерен во тек на истражувањата, туку беше определен врз база на претпоставката дека односот на надземниот опад и надземната фитомаса се еднакви со односот на подземниот опад и подземната фитомаса:

$$\frac{\text{Он}}{\text{Фн}_d} = \frac{\text{Оп}}{\text{Фп}_d}$$

Фитомасата која се губи како резултат на активноста на ризофагните организми не беше земена предвид заради тоа што не беа спроведени посебни истражувања за нејзино определување, а масата и активноста на почвените организми во истражуваниот буков екосистем е многу мала (Прелиќ 2002) што води до претпоставката дека овој дел на продукцијата е многу мал. Singh et al. (1984) сметаат дека тој е помалку значаен во однос на грешките кои се прават во определувањето на $\Delta\text{Фп}_d$ и кои најчесто доведуваат до поголеми вредности за НППп од реалните.

Подземната нето-примарна продукција во катот на грмушките (НППп_г) беше определена на идентичен начин како и НППп_д.

Користени кратенки (Abbreviations used)

- НПП - нето примарна продукција (net-primary production)
- НППп - подземна нето примарна продукција (belowground net-primary production)
- НППп_д - подземна нето примарна продукција во катот на дрвјата (belowground net-

- НППп_т - подземна нето примарна продукција во катот на грмушките (belowground net-primary production in the shrub layer)
- НППп_т - подземна нето примарна продукција во катот на тревестите растенија (belowground net-primary production in the herb layer)
- НППп_{ск} - продукција на ситните корења, d < 2mm (fine root production, d<2mm)
- Он - надземен опад (aboveground litter production)
- Оп - подземен опад (belowground litter production)
- Фн - надземна фитомаса (aboveground phytomass)
- ΔФп - подземен годишен прираст (belowground annual increment)
- ΔФп_д - подземен годишен прираст во катот на дрвјата (belowground annual increment in the tree layer)

ΔФп_г - подземен годишен прираст во катот на грмушките (belowground annual increment in the shrub layer)

Резултати

Подземна примарна продукција во катот на дрвјата (НППп_д)

ΔФп беше проценет врз база на разликите во подземната фитомаса помеѓу различните календарски години. Тој за корењата со дијаметар над 1 mm изнесува 1032,2 kg·ha⁻¹·год.⁻¹ (Таб. 1). Со најголем процент во формирањето на подземниот прираст учествуваат крупните корења (> 10,0 cm) и пеновите на дрвјата (Сл. 1).

На Таб. 2 е даден комплетен преглед на просечниот ΔФп во различните дебелински класи и дрвесината и кората на корењата и пенот. Најголемата маса во ΔФп ја даваат фракциите со ДВН помеѓу 29 и 39 cm.

Таб. 1. Подземен годишен прираст (kg·ha⁻¹·год.⁻¹) на корењата (>1 mm) во истражуваниот буков екосистем во периодот 1997-2005 година.

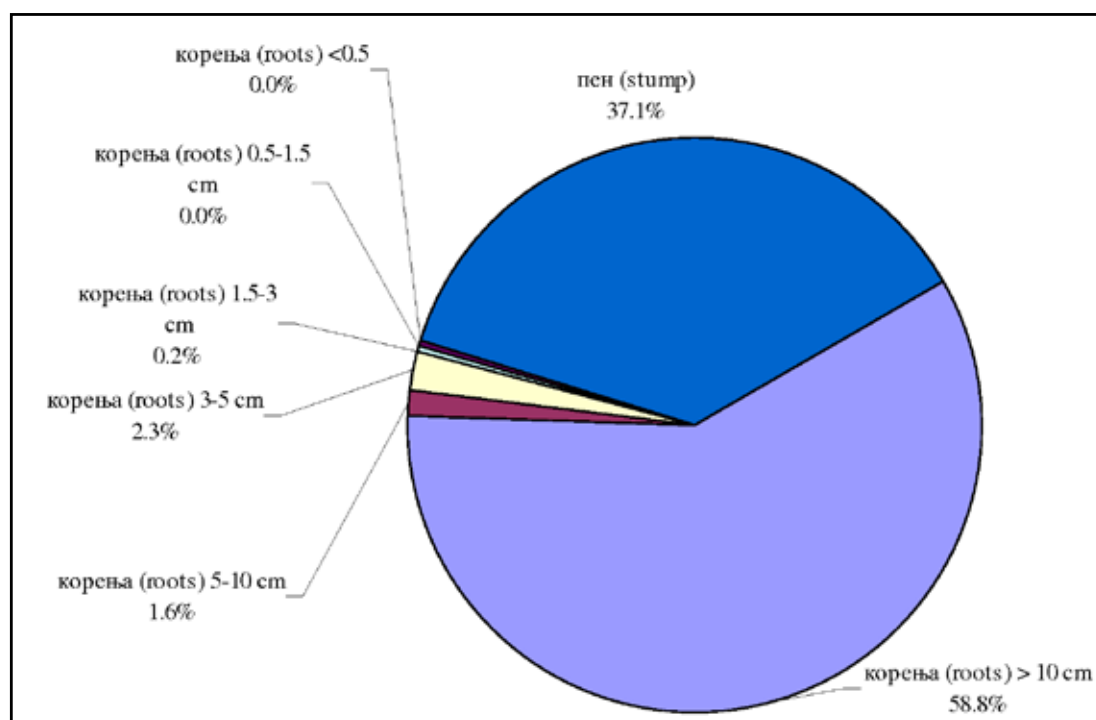
Таб. 2. Belowground annual increment (kg·ha⁻¹·y⁻¹) of coarse roots (>1mm) in the investigated beech ecosystem in the period 1997-2005.

Органи/фракции		1997	1998	1999	2001	2004	2005	Просек
Корења (roots) > 10 cm	T	506,9	848,1	542,8	541,9	547,5	823,6	605,3
	W	478,0	799,8	511,9	511,0	516,3	776,7	570,8
	B	28,9	48,3	30,9	30,9	31,2	46,9	34,5
корења (roots) 5-10 cm	T	28,0	39,5	21,5	13,5	9,1	15,0	17,6
	W	25,7	36,2	19,7	12,4	8,3	13,8	16,1
	B	2,3	3,3	1,8	1,1	0,8	1,3	1,5
Корења (roots) 3-5 cm	T	23,3	36,5	22,7	21,0	20,6	31,5	24,2
	W	20,6	32,2	20,1	18,6	18,2	27,8	21,4
	B	2,7	4,2	2,6	2,4	2,4	3,7	2,8
Корења (roots) 1,5-3 cm	T	2,3	3,7	2,3	2,3	2,3	3,5	2,6
	W	2,0	3,2	2,0	2,0	2,0	3,0	2,2
	B	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4
корења (roots) 0,5-1,5 cm	T	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,7	-0,6	-0,5
	W	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2	-0,6	-0,5	-0,4
	B	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
корења (roots) 0,1-0,5 cm	T	-0,5	-0,3	-0,2	0,0	-0,3	-0,2	-0,3
вкупно корења (total roots)	T	559,5	926,9	588,8	578,4	578,5	872,8	648,9
	W	525,4	870,6	553,2	543,7	543,9	820,6	609,9
	B	34,1	56,3	35,6	34,7	34,5	52,2	39,0
Пен (stump)	T	333,5	540,5	347,1	340,9	342,1	520,3	383,3
	W	314,5	509,8	327,4	321,5	322,6	490,7	361,5
	B	19,0	30,8	19,8	19,4	19,5	29,6	21,8
Подземен прираст (Belowground increment)	T	893,0	1467,4	936,0	919,4	920,6	1393,1	1032,2
	W	839,9	1380,4	880,6	865,2	866,6	1311,3	971,4
	B	53,1	87,0	55,4	54,1	54,0	81,8	60,9

T-вкупно; W - дрвесина; B - кора (T-total; W - wood; B - bark)

Таб. 2. Просечен годишен прираст ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$) на корењата со $d > 1 \text{ mm}$ од дрвјата во истражуваниот буков екосистем за периодот 1997-2005 година.
Tab. 2. Average annual increment of roots ($d > 1 \text{ mm}$) in the investigated beech ecosystem in the period 1997-2005

класа (class)	корења (roots) > 10 cm			корења (roots) 5-10 cm			корења (roots) 3-5 cm			корења (roots) 1.5-3 cm			корења (roots) 0.5-1.5 cm			корења (roots) <0,5 (roots)	Вкупно корења (total roots)			Пен (stump)			Вкупна маса (total mass)				
	T	W	B	T	W	B	T	W	B	T	W	B	T	W	B		T	W	B	T	W	B	T	W	B		
	3-5																										
5-7																											
7-9																											
9-11																											
11-13	5.89	5.56	0.34	0.43	0.40	0.04	0.29	0.26	0.03	0.02	0.02	0.00	-0.02	-0.02	0.00	6.61	6.21	0.41	2.83	2.67	0.16	9.45	8.88	0.57			
13-15	9.42	8.89	0.54	0.55	0.50	0.05	0.45	0.40	0.05	0.04	0.03	0.00	-0.02	-0.02	0.00	10.43	9.80	0.64	4.82	4.55	0.27	15.25	14.34	0.91			
15-17	11.15	10.52	0.64	0.82	0.75	0.07	0.52	0.46	0.06	0.04	0.04	0.01	-0.01	-0.01	0.00	12.52	11.75	0.77	6.01	5.67	0.34	18.53	17.42	1.11			
17-19	21.67	20.44	1.23	1.23	1.12	0.10	0.96	0.85	0.11	0.09	0.07	0.01	-0.01	-0.01	0.00	23.93	22.47	1.46	12.20	11.50	0.69	36.13	33.97	2.15			
19-21	31.03	29.27	1.77	1.47	1.35	0.12	1.34	1.18	0.15	0.12	0.11	0.02	-0.01	-0.01	0.00	33.95	31.89	2.06	18.00	16.98	1.03	51.95	48.87	3.09			
21-23	25.37	23.92	1.44	1.03	0.95	0.09	1.06	0.94	0.12	0.10	0.09	0.01	-0.01	-0.01	0.00	27.56	25.89	1.67	15.10	14.24	0.86	42.66	40.13	2.53			
23-25	49.18	46.38	2.80	1.74	1.59	0.15	2.01	1.78	0.23	0.20	0.18	0.03	-0.02	-0.02	0.00	53.12	49.92	3.21	29.99	28.28	1.71	83.11	78.20	4.91			
25-27	52.90	49.89	3.01	1.69	1.55	0.14	2.13	1.88	0.25	0.22	0.19	0.03	-0.01	-0.01	0.00	56.92	53.49	3.43	32.83	30.96	1.87	89.75	84.45	5.30			
27-29	74.15	69.92	4.22	2.12	1.94	0.18	2.93	2.59	0.34	0.31	0.27	0.04	-0.02	-0.02	0.00	79.48	74.70	4.78	46.89	44.22	2.67	126.37	118.92	7.45			
29-31	70.59	66.57	4.02	1.83	1.68	0.15	2.74	2.42	0.32	0.30	0.26	0.04	-0.01	-0.01	0.00	75.45	70.92	4.53	45.37	42.78	2.58	120.82	113.71	7.11			
31-33	87.67	82.67	4.99	2.07	1.89	0.17	3.35	2.96	0.39	0.38	0.32	0.05	-0.02	-0.02	0.00	93.44	87.84	5.60	57.28	54.02	3.26	150.72	141.86	8.87			
33-35	56.03	52.84	3.19	1.22	1.12	0.10	2.11	1.87	0.24	0.24	0.21	0.03	-0.01	-0.01	0.00	59.59	56.02	3.57	37.09	34.98	2.11	96.68	91.00	5.68			
35-37	32.74	30.88	1.86	0.66	0.60	0.06	1.22	1.08	0.14	0.14	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	34.76	32.68	2.08	21.98	20.73	1.25	56.73	53.40	3.33			
37-39	36.39	34.32	2.07	0.67	0.62	0.06	1.33	1.18	0.15	0.16	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	38.55	36.24	2.30	24.79	23.38	1.41	63.34	59.62	3.72			
39-41	31.29	29.51	1.78	0.54	0.50	0.05	1.13	1.00	0.13	0.14	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	33.10	31.12	1.98	21.53	20.30	1.23	54.63	51.43	3.20			
41-43	13.83	13.04	0.79	0.23	0.21	0.02	0.50	0.44	0.06	0.06	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	14.61	13.74	0.87	9.59	9.05	0.55	24.20	22.78	1.42			
45-47	8.30	7.82	0.47	0.12	0.11	0.01	0.29	0.26	0.03	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	8.74	8.22	0.52	5.91	5.58	0.34	14.65	13.80	0.86			
Вкупно (total)	617.60	582.42	35.18	16.30	14.94	1.36	24.29	21.47	2.82	2.61	2.25	0.36	-0.48	-0.40	-0.08	660.10	620.47	39.63	389.53	367.34	22.19	1049.63	987.81	61.82			



Сл. 1. Процентуално учество на пенот и корењата со различни димензии во формирањето на годишниот прираст на корењата со $d > 1$ mm во истражуваниот буков екосистем.

Fig. 1. Percentual participation of stump and coarse roots in the annual increment of tree roots (> 1 mm) in the investigated beech ecosystem.

Во тек на теренските истражувања не беше спроведена анализа на НППск (< 2 mm). Во литературата, за определување на НППск, најчесто се споменуваат методите со минеризотрони, фенолошкиот метод на максимална и минимална маса на ситните корења, збир на месечните/периодичните зголемување на масата на ситните корења, индиректни методи како што е методот за проценка на потребите за азот итн.

Во оваа работа е прифатено мислењето на Nadelhoffer & Raich (1992) според кое, НППск е во врска со Он според следната равенка:

$$\text{НПП}_{\text{ск}} = 5,52 + 0,76 \cdot \text{Он}$$

Доколку се земат податоците за Он (Šušlevska et al. 2001; Христовски 2007) тогаш просечната Пск изнесува $4,18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Таб. 3).

Пск може да се пресмета и врз база на времето на обрт кое го даваат различни автори. Според Gill & Jackson (2000) тоа изнесува помеѓу $0,8$ - $1,2 \text{ год}^{-1}$. Доколку се пресмета Пск на овој начин се добива висока вредност од $10,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ (Таб. 4).

Таб. 3. Нето-примарна продукција на ситните корења (< 2 mm) во истражуваниот буков екосистем ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$) според моделот на Nadelhoffer & Raich (1992).

Tab. 3. Net-primary production of fine roots (< 2 mm) in the investigated beech ecosystem ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$) according to the model of Nadelhoffer & Raich (1992).

ситни корења (fine roots)	1998	1999	2000-2001	2002-2004	2005	Просек (average)
$< 0,2 \text{ mm}$	2494,8	2078,1	2358,2	2600,3	3325,5	2552,0
$0,2$ - $0,5 \text{ mm}$	686,0	571,5	648,5	715,1	914,5	701,8
$0,5$ - 1 mm	558,7	465,3	528,1	582,3	744,7	571,5
1 - 2 mm	443,7	369,6	419,4	462,4	591,4	453,8
НПП _{ск}	3484,5	3954,1	4360,1	5576,0	4279,0	4183,2

Таб. 4. Нето-примарна продукција на ситните корења (< 2 mm) во $t \cdot ha^{-1} \cdot год^{-1}$ во истражуваниот буков екосистем во Маврово пресметана според времето на обрт ($T=0,8-1,2$)

Tab. 4. Net-primary production of fine roots (<2 mm) in the investigated beech ecosystem ($kg \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) calculated according to the turnover time.

Фракција (fraction)	<0,2 mm	0,2-0,5 mm	0,5-1,0 mm	1-2 mm	вкупно
НПП _{пск}	5,6	1,9	1,7	1,4	10,6

Таб. 5. Подземна нето-примарна продукција ($kg \cdot ha^{-1} \cdot год^{-1}$) во катот на дрвјата за периодот 1997-2005 година во истражуваниот буков екосистем.

Tab. 5. Belowground net-primary production in the investigated beech ecosystem in the period 1997-2005.

	1997	1998	1999	2001	2004	2005	Просек (average)
$\Delta\Phi_{пд}$	893,0	1467,4	936,0	919,4	920,6	1393,1	1032,2
$\Pi_{ск}$	4183,2	3484,5	3954,1	4360,1	5576,0	4279,0	4183,2
$Он/\Phiн$	0,0047	0,0045	0,0030	0,0031	0,0057	0,0089	0,0050
$Оп$	211,2	209,6	141,9	154,0	295,4	472,8	252,29
НПП _{пд}	5287,4	5161,5	5032,1	5433,5	6792,0	6144,9	5930,3

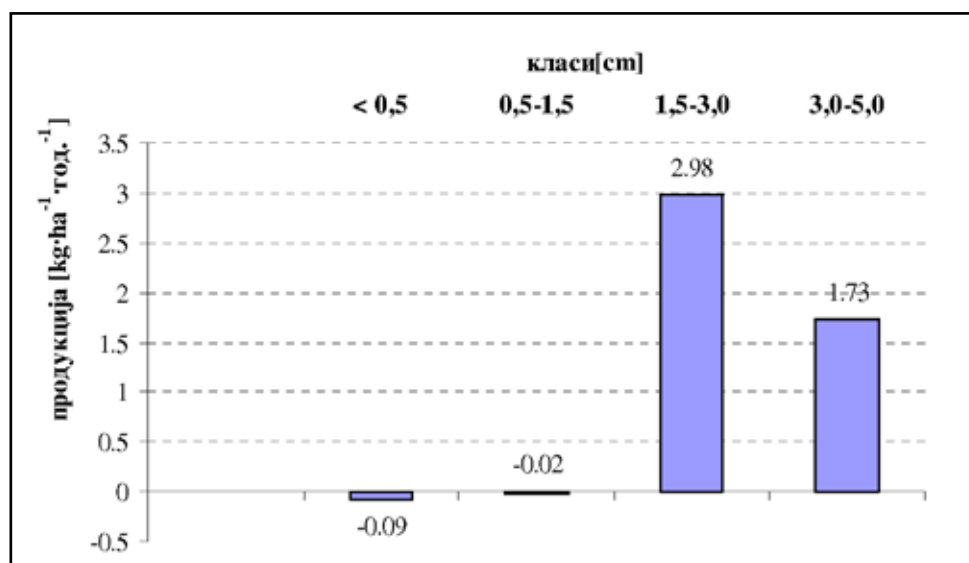
Оп е определен како однос на кореновата маса која изумира и вкупната подземна фитомаса под претпоставка дека тој е идентичен со односот на паднати гранки и надземната фитомаса. Вредностите за овој однос се прикажани на Таб. 5.

НПП_{пд} изнесуваше $5930,3 kg \cdot ha^{-1} \cdot год^{-1}$ во просек за периодот 1997-2005 година (Таб. 5). Од тоа најголем дел отпаѓа на Пск, а најмалку на Оп.

Подземна нето-примарна продукција во катот на грмушките (НПП_ц)

$\Delta\Phi_{пг}$ изнесува $4,61 kg \cdot ha^{-1} \cdot год^{-1}$. Оваа вредност не ја вклучува продукцијата на ситните корења (< 1 mm) ниту го вклучува опадот од крупните корења кој не беше определен.

Двете најмали дебелински класи покажаа негативни вредности за прирастот, додека двете подебели класи грмушки покажаа прираст од



Сл. 2. Подземен прираст во катот на грмушките (не се земени предвид корењата < 1 mm) во истражуваниот буков екосистем во Маврово.

Fig. 2. Belowground increment in the shrub layer (excluding roots < 1 mm) in the investigated beech ecosystem in Mavrovo.

Tab. 6. Продукција на ситни корења (< 2 mm) од катот на грмушките во истражуваниот буков екосистем во Маврово ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$).

Tab. 6. Fine root production (<2 mm) in the shrub layer in the investigated beech ecosystem in Mavrovo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$).

Фракција на ситни корења (fine root fraction)	1998	1999	2000-2001	2002-2004	2005	Просек (average)
<0,2	2,82	2,35	2,66	2,94	3,76	2,88
0,2-0,5	0,78	0,65	0,73	0,81	1,03	0,79
0,5-1,0	0,63	0,53	0,60	0,66	0,84	0,65
1,0-2,0	0,50	0,42	0,47	0,52	0,67	0,51
Вкупно (total)	4,73	3,94	4,47	4,93	6,30	4,84

2,98 и $1,73 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ (Сл. 2).

Процентата $\text{НПП}_{\text{ск}}$ во катот на грмушките изнесува $4,84 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ (Tab. 6). Од тоа најголем дел отпаѓа на најситните корења (<0,2 mm) т.е. 37,7%. просечната вредност на $\text{НПП}_{\text{ск}}$ во катот на грмушките за периодот 2001-2005 година изнесува $4,84 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ (Tab. 6).

$\text{НПП}_{\text{г}}$ може да се определи според следната равенка:

$$\text{НПП}_{\text{г}} = \Delta\text{Ф}_{\text{д}} + \text{НПП}_{\text{ск}} + \text{Оп}, \text{ т.е.}$$

$$\text{НПП}_{\text{г}} = 4,61 + 4,84 + 10,32 = 19,77 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$$

Според Христовски (2007) односот на сувите гранки и надземната фитомаса во катот на грмушките изнесува 0,142. Овој коефициент беше помножен со $\text{Ф}_{\text{г}}$ и беше добиена вредност од $10,32 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$ за опадот од крупните корења на грмушките.

Дискусија

Познато е дека продукцијата на крупните корења покажува најниска процентуална вредност во однос на нивната фитомаса (Gill & Jackson 2000). Според Kestemont (1982 во: Gill & Jackson 2000) вредноста за обртот изнесува само 0,022 што е многу блиска со вредноста буковиот екосистем во Маврово - 0,026.

Продукцијата на корења за три букови шуми во Шведска изнесувала 2,3, 2,4 и $1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Nilhlgård & Lindgren 1977). Duvigneaud et al. (1971) за 11 типови букови шуми во централна Европа определиле дека продукцијата на крупни корења изнесува $0,8-1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Според Le Goff & Ottorini (2001) во букова шума во Хесе (Франција), продукцијата на крупните корења во катот на дрвјата била проценета на $1,86 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$. Од овој преглед се гледа дека вредноста за буковиот екосистем во Маврово ($1,03 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$) е во рамките на литературните податоци, но го сместува екосистемот во групата со пониска коренова продукција.

Системот на ситните корења на растенијата има клучна улога во протокот на енергија и кружењето на материјата во биосферата преку

усвојувањето на минералните материи од почвата. Заради потешкотиите во мерењето на активноста на ситните корења *in situ*, нашето знаење за екологијата на ситните корења е едвај доволно (Fahey & Hughes 1994). Во литературата може да се сретнат огромни разлики во податоците за Пск, брзината на деградација, морталитетот, просечното време на живот на ситните корења итн.

Пск може да ја надмине надземната продукција на листови, да биде еднаква на неа или значително пониска (Harris et al. 1980; Van Praag et al. 1988; Burke & Raynal 1994; Gower et al. 1996; Le Goff & Ottorini 2001; Burke & Chambers 2003; Kern et al. 2004). Nadelhoffer & Raich (1992), врз база на студии од умерената област на Светот, наведуваат дека Пск се движи помеѓу $0,85$ и $9,90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$. Fogel (1983) пресметал, врз база на повеќе студии, дека $\text{НПП}_{\text{ск}}$ претставува 30-86 % од $\text{Ф}_{\text{ск}}$ во тек на една година и оваа вредност е слична за иглолисните и широколисните видови. Овие високи вредности кои варираат ги објаснува како:

1. „адаптивна стратегија“ - Harris et al. (1980): изумирањето на коренчињата проследено со микробиолошката имобилизација може да ги сочува минералните материи во горните почвени слоеви кога растението е под стрес. За време на суша, ситните корења за една недела трошат енергетски резерви кои се еквивалентни на нивната маса. Затоа, во вакви периоди, предност претставува одржување на мала маса на ситни корења со што се намалуваат трошоците за дишење. Ова може да се дополни со фактот дека Пск е пониска во екосистеми кои се сиромашни со достапни минерални материи (Nadelhoffer et al. 1985). Овој феномен се објаснува со фактот дека на овој начин растенијата инвестираат многу помалку во продукцијата на корењата, а компензираат со коренчиња кои многу подолго живеат и

2. второто објаснување се базира на претпоставката дека најголем дел од апсорпцијата и минералните материи се случува веднаш зад кореновиот врв и во одредени (многу мали) зони на почвата доаѓа до намалување на водата и минералните материи. Ако оваа претпоставка е точна, тогаш изумирањето на коренчињата во „осиромашените“ зони ќе ги намали трошоците за дишење со што ќе им се овозможи на новите корења да ги експлоатираат водата и минералните материи од неексплоатирани зони. Ова објаснување не ја зема предвид улогата на микоризните габи во зголемувањето на зоната на апсорпција на корењата која обично изнесува 1-2 mm.

Интересно е дека Vogt et al. (1987) наведуваат дека Фск на ситните корења не се зголемува континуирано со стареење на шумскиот екосистем. Во истражувањата на 15 шумски состоини од *Pseudotsuga menziesii* констатирале дека Фск достигнала стабилна состојба после 33 години и во ист период кога надземниот опад ја достигнал стабилната вредност. Curt & Prévosto (2003) посочуваат дека максималната Фск во букови шуми се стабилизира во време кога ќе се формираат крошните на дрвјата. Притоа, Пск не е еднаква во површинските и подлабоките почвени слоеви т.е. таа опаѓа со зголемување на длабочината (Hendrick & Pregitzer 1996; Hertel & Leuschner 2002).

За деградацијата на ситните корења на буката не постојат доволно податоци во литературата, но се смета дека ситните корења деградираат побрзо отколку листовите (Jackson et al. 1997). Van Praag et al. (1988) соопштиле дека масата на мртвите коренчиња се намалува за 36,3 % во тек на една година. Пресметаната вредност за константата на деградација ($m_t = m_0 \cdot e^{-kt}$) би изнесувала 0,45. Според други автори, деградацијата на ситните корења е побавна отколку деградацијата на листовите. Така, McClougherty et al. (1982) дава вредности помеѓу 12 и 25 % за различни шумски видови дрвја.

Математички, Пск за буковиот екосистем може да се процени на неколку начини.

На пример, аналогно на надземните процесите, продукцијата на подземни опад е во зависност од константата на деградација (k) и масата на мртвата органска материја која е опишана со равенката на Jenny et al. (1949):

$$k = \frac{\text{Оп}}{\text{Оп} + \text{МК}},$$

каде Оп е подземни опад, МК е масата на мртви корења (некрома) и k е константата на деградација. Доколку се земе вредноста од $6,96 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ за

МК и $k=0,45$ тогаш се добива дека продукцијата на опадот изнесува $5,68 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Друг начин е преку константата за деградација. Ако брзината на деградација на ситните корења е еднаква на брзината на деградација на листовите т.е. $k=0,3$ (Христовски 2004) тогаш се добива вредност од $2,97 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ за Пск. Пресметаната вредност според равенката на Nadelhoffer & Raich (1992) изнесува $4,18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ и се наоѓа помеѓу претходно пресметаните две вредности. Вредностите добиени со податоците за животниот век на ситните корења во шумските екосистеми даваат многу повисоки вредности, па не се прикажани таквите проценки.

Равенката на Nadelhoffer & Raich (1992) во предвид го зема надземниот опад т.е. моќноста на екосистемот за продукција (NR метод). Во ваков, случај продукцијата на опадот, надземен или подземни, ќе зависи од истите надворешни и внатрешни фактори (достапност на минерални материи, климатски фактори, различни физиолошки состојби) за сите екосистеми. Разликите помеѓу екосистемите може да се јават како разлика во балансот помеѓу надземната и подземната продукција на шумските екосистеми т.е. при иста НПП во различни шумски екосистеми да се јави различен процентуален удел на НППн и НППп.

Оваа генерална равенка има свои недостатоци. Според Gower et al. (1996) и Nadelhoffer et al. (1998) таа не би требало да се користи за млади шумски екосистеми, ниту за екосистеми во кои се врши фертилизација и иригација.

Пресметаната вредност од $4,18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ добро се вклопува со останатите параметри на растот и различни односи на фитомасата и продукцијата.

Важно е да се напомене дека добиените вредности за Пск во многу зависат од употребениот метод (Persson 1979; McClougherty et al. 1982; Fogel 1983; Van Praag et al. 1988; Burke & Raynal 1994; Gill & Jackson 2000; Barbaroux et al. 2003; Ostonen et al. 2005). Тоа може да се види од прегледот на трудовите во кои биле употребени повеќе методи, што всушност е вообичаен пристап заради потребата од компарирање на добиените резултати и проценка на реалните вредности. Во најголем дел од студиите се добиени многу различни резултати при користењето на различни методи.

Најблиски вредности добиле Burke & Raynal (1994) кои ја процениле Пск со помош на три методи: минимум/максимум фенолошкиот метод, фенолошкиот метод на зборови на месечните/периодичните зголемувања на масата на ситните корења и NR методот. Трите методи дале слични резултати кои се разликувале за околу 20 %.

Barbaroux et al. (2003) ја процениле Пск со помош на буџетски приод базиран на јаглеродот ($P_{ск} = НПП_{н-с} - \Delta\Phi_{с} - 0,56 \cdot Пл_{с}$). Тие пресметале вредност од 1160 g C кој го продуцира едно дрво, за разлика од Erpon et al. (1999) кои за истиот екосистем навеле вредност од 682 g. За истиот шумски екосистем се објавени уште две многу пониски вредности од 0,58 и 1,3 t·ha⁻¹·год.⁻¹, кои всушност се окарактеризирани како годишен прираст, а не како Пск (Le Goff & Ottorini 2001).

Van Praag et al. (1988) ја определиле Пск преку фенолошкиот метод на зборови на месечните/периодичните зголемување на масата на ситните корења. Тие прикажале вредност од 4393 kg·ha⁻¹·год.⁻¹ што ја надминува Фск во бучковниот екосистем на Белгиските Ардени од 3453 kg·ha⁻¹. Консеквентно на тоа, измерениот животен век (времет на престој) на ситните корења е многу кратко и изнесува само 3,19 месеци за живите коренчиња и 7,64 месеци на мртвите коренчиња. И по однос на овие параметри, најновите истражувања покажуваат дека животниот век на ситните корења не е толку краток како што сметале авторите во постарата литература кои користеле различни фенолошки методи за определување на Пск (Johnsen et al. 2005). Hendrick & Pregitzer (1992) даваат вредности од <1->8 години. Burke & Raunay (1994) сметаат дека обртот (реципрочна вредност од животниот век) во шуми од умерениот појас изнесува 0,7-2,0 год.⁻¹, додека Gill & Jackson (2000) наведуваат вредности од (0,1)0,8-1,2 год.⁻¹.

McClougherty et al. (1982) даваат вредности за Пск за два шумски екосистеми (дабов и смрчов) од 5,4 и 4,1 t·ha⁻¹·год.⁻¹ кои биле добиени преку животниот век на ситните корења (1 година). Со фенолошкиот метод на зборови на месечните/периодичните зголемувања на масата на ситните корења добиле многу повисоки вредности од 11,4 и 10,9 t·ha⁻¹·год.⁻¹ кои се 2,1 и 2,7 пати повисоки.

Ostonen et al. (2005) измериле Пск од 2,51 и 0,965 t·ha⁻¹·год.⁻¹ за смрчева шума (*Picea abies*) со помош на фенолошкиот метод на зборови на месечните/периодичните зголемувања на масата на ситните корења и методот со перфорирани цевки во кои навлегуваат ситните корења.

Од анализата на методолошките пристапи за определување на Пск во шумски екосистеми од различни студии може да се констатира следното:

- Фенолошки методи
 - o фенолошкиот метод на зборови на месечните/периодичните зголемувања на масата на ситните корења дава не-реално високи вредности. Работата со овој метод е макотрпна и долготрајна, а се добиваат мал број параметри на

фитомасата и продукцијата на ситните корења (Singh et al. 1984; Vogt et al. 1986; Nadelhoffer & Raich 1992; Neill 1992; Hertel & Leuschner 2002). Најголем дел од грешките произлегуваат од неможноста прецизно да се одделат мртвите од живите корења (Hertel & Leuschner 2002).

- o фенолошкиот метод на максимум/минимум вредности е подобар во однос на претходниот. Негов основен недостаток е неможноста точно да се определат минималните и максималните вредности во тек на една година бидејќи Фск варира и брзо се менува, а покажува различна динамика од година во година. Затоа Vogt et al. (1986) констатираат дека не постои стандардизирана постапка за да се определи Пск во шумските екосистеми со овој метод. Hertel & Leuschner (2002) наведуваат дека за овој метод е потребно познавање на константата на деградација која претставува дополнителен методолошки проблем. Главното резултатите со овој метод се пониски од реалните (Nadelhoffer & Raich 1992).
- Методот со перфорирани цевки во кои навлегуваат ситните корења е релативно едноставен за работа, но содржи и голем број недостатоци, но најважно е што дава непрецизни резултати (Tierney & Fahey 2001). Најважните недостатоци може да се резимираат во следните точки (Hertel & Leuschner 2002): 1. инсталацијата на цевките предизвикува промени во ризосферата и повреда на некои од корењата; 2. растот на корењата и нивното навлегување во цевките настанува по извесен период на доцнење; 3. растот на корењата во цевките е забавен; 4. во тек на работата не се земаат предвид мртвите корења и брзината на нивната деградација и 5. во повеќето студии не била земена почва од екосистемот во кој се вршат мерењата.
- Методот со миниризотрони е еден од наједноставните методи за определување на Пск кој е релативно брз, а дава голем број податоци за фитомасата и продукцијата на ситните корења (животен век, должина и површина на ситните корења, појава и процент на микоризи, сезонска динамика итн.). Според поголемиот број автори кои извршиле споредба на различните директни методи, предност му се дава на методот со миниризотрони (Hendrick & Pregitzer 1992;

Tierney & Fahey 2001; Jose et al. 2001). Комплетен преглед на постапките на миниризотронскиот метод и нивна стандардизација се дадени кај Johnson et al. (2001).

- Буџетските методи најчесто се базираат на кружењето на С и N во шумските екосистеми даваат реални податоци за Пск, односно податоци кои добро се вклопуваат во општото познавање на кружењето на материи во шумскиот екосистем. Нивниот недостаток е што тоа се индиректни методи кои бараат точно познавање на некои параметри на кружењето како што се количеството минерални материи во опадот, респирацијата (за јаглеродот), внесот во екосистемите (влажна и сува депозиција), а некои параметри се занемаруваат (Nadelhoffer 2000). Можните грешки во мерењето на овие променливи или краткотрајни мерења сигурно доведуваат и до значителни грешки во определувањето на Пск. Еден од можните недостатоци е тоа што буџетските методи не може да се применат на млади екосистеми т.е. нивната теоретска основа е разработена за екосистеми во климакс. Се тргнува од претпоставката дека резервите на јаглерод во почвата се константни, па внесот на јаглерод во почвата преку морталитетот на ситните корења (кој во овој случај е еднаков на Пск) и преку надземниот опад треба да е еднаков на збирот на јаглеродот кој се ослободува од почвата како резултат на дишењето и малото количество јаглерод кое се губи како резултат на плакнењето во почвата (Fahey & Hughes 1994). Сепак, резултатите кои се добиваат со овие методи добро се вклопуваат во шеми-те за кружење на минералните материи (Nadelhoffer et al. 1985).

Методите со користење на радиоизотопи користат ^{14}C , $\delta^{14}\text{C}$, $\delta^{13}\text{C}$, ^{15}N даваат подобри резултати од останатите методи (Nadelhoffer 2000).

Заклучоци

Годишниот подземен прираст во катот на дрвјата изнесуваше $1032,2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ што е во рамките на варирањето на оваа вредност во европски рамки. За грмушките оваа вредност е многу помала и изнесува $4,61 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Процентата подземна нето-примарна продукција во катот на дрвјата изнесува $5930,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, а за грмушките само $19,77 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Референци

- Aber, J. D., Melillo, J. M., Nadelhoffer, K. J., McClaugherty, C. A., Pastor, J. (1985). Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quantity and form of nitrogen availability: a comparison of two methods. *Oecologia* 66: 317-321.
- Barbaroux, X., Bréda, N., Dufrière, E. (2003). Distribution of above-ground and below-ground carbohydrate reserves in adult trees of two contrasting broad-leaved species (*Quercus petraea* and *Fagus sylvatica*). *New Phytologist* 157: 605-615.
- Burke, M. K., Chambers, J. L. (2003). Root dynamics in bottomland hardwood forests of the Southeastern United States Coastal Plain. *Plant and Soil* 250: 141-153.
- Burke, M. K., Raynal, D. J. (1994). Fine root growth phenology, production, and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil* 162: 135-146.
- Curt, T., Prévosto, B. (2003). Rooting strategy of naturally regenerated beech in silver birch and Scots pine woodlands. *Plant and Soil* 255: 256-279.
- Dilustro, J. J., Day, F. P., Drake, B. G., Hinkle, C. R. (2002). Abundance, production and mortality of fine roots under elevated atmospheric CO_2 in an oak-scrub ecosystem. *Env. Exp. Bot.* 48: 149-159.
- Duvigneaud, P., Denayer - De Smet, S. (1971). Cycle des éléments biogènes dan les écosystèmes forestiers d'Europe (principalment forêts caducifoliées). In: Duvigneaud, P. (ed.). Productivity of forest ecosystems. Proceedings of the Brussels symposium organized by Unesco and the International Biological Programme (27-31.10.1969). Unesco, Paris.
- Epron, D., Farque, L., Lucot, E., Badot, P.M. (1999). Soil CO_2 efflux in a beech forest: the contribution of root respiration. *Ann. For. Sci.* 56: 289-295.
- Fahey, T. J., Hughes, J. W. (1994). Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem, Hubbard Brook Experimental Forest, NH. *Journal of Ecology* 82: 533-548.
- Fogel, R. (1983). Root turnover and productivity of coniferous forests. *Plant and Soil* 71: 75-85.
- Gill, R. A., Jackson, R. B. (2000). Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytol.* 147: 13-31.
- Gower, S. T., Pongracic, S., Landsberg, J. J. (1996). A global trend in belowground carbon allocation: Can we use the relationship at smaller scales? *Ecology* 77(6): 1750-1755.
- Harris, W. F., Santantonio, D., McGinty, D. (1980). The dynamic belowground ecosystem. In:

- Waring, R. H., (ed.). Forests: Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis. Oregon: Oregon State University Press. 119-129.
- Hendrick, R. L., Pregitzer, K. S. (1992). The demography of fine roots in a northern hardwood forest. *Ecology* 73(3): 1094-1104.
- Hendrick, R. L., Pregitzer, K. S. (1996). Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. *J. Ecol.* 84: 167-176.
- Hertel, D., Leuschner, C. (2002). A comparison of four different fine root production estimates with ecosystem carbon balance data in a *Fagus-Quercus* mixed forest. *Plant and Soil* 239: 237-251.
- Jenny, H., Gessel, S. P. & Bingham, F. T. (1949). Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil. Sci.* 68: 419-432.
- Johnsen, K., Maier, C., Kress, L. (2005). Quantifying root lateral distribution and turnover using pine trees with a distinct stable carbon isotope signature. *Functional Ecology* 19: 81-87.
- Johnson, M. G., Tingey, D. T., Phillips, D. L., Storm, M. J. (2001). Advancing fine root research with minirhizotrons. *Env. Exp. Bot.* 45: 263-289.
- Jose, S., Gillespie, A. R., Seifert, J. R., Pope, P. E. (2001). Comparison of minirhizotron and soil core methods for quantifying root biomass in a temperate alley cropping system. *Agroforestry Systems* 52: 161-168.
- Kern, C. C., Friend, A. L., Johnson, J. M.-F., Coleman, M. D. (2004). Fine root dynamics in a developing *Populus deltoides* plantation. *Tree Physiology* 24: 651-660.
- Le Goff, N., Ottorini, J.-M. (2001). Root biomass and biomass increment in a beech (*Fagus sylvatica* L.) stand in North-East France. *Ann. For. Sci.* 58: p. 1-13.
- McClougherty, C. A., Aber, J. D., Melillo, J. M. (1982). The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology* 63(5): 1481-1490.
- Nadelhoffer, K. J., Raich, J. W. (1992). Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. *Ecology* 73: 1139-1147.
- Nadelhoffer, K. J. (2000). The potential effects of nitrogen deposition on fine-root production in forest ecosystems. *New Phytol.* 147: 131-139.
- Nadelhoffer, K. J., Raich, J. W., Aber, J. D. (1998). A global trend in belowground carbon allocation: comment. *Ecology* 79(5): 1822-1825.
- Nadelhoffer, K. J., Aber, J. D., Melillo, J. M. (1985). Fine roots, net primary production, and soil nitrogen availability: A new hypothesis. *Ecology* 66(4): 1377-1390.
- Neill, C. (1992). Comparison of soil coring and ingrowth methods for measuring belowground production. *Ecology* 73(5): 1918-1921.
- Nihlgård, B., Lindgren, L. (1977). Plant biomass, primary production and bioelements of three mature beech forests in South Sweden. *Oikos* 28: 95-104.
- Ostonen, I., Lohmus, K., Pajuste, K. (2005). Fine root biomass, production and its proportion of NPP in a fertile middle-aged Norway spruce forest: Comparison of soil core and ingrowth core methods.
- Persson, H. (1979). Fine-root production, mortality and decomposition in forest ecosystems. *Vegetatio* 41: 101-109.
- Singh, J. S., Lauenroth, W. K., Hunt, H. W., Swift, D. M. (1984). Bias and random errors in estimates of net root production: a simulation approach. *Ecology* 65(6): 1760-1764.
- Šušlevska, M., Melovski, Lj., Grupče, Lj., Hristovski, S. (2001). Litter production in the ecosystem *Calamintho grandiflorae-Fagetum* in Mavrovo National Park. In: Radoglou, K. (Ed.). Proceedings of the International Conference: Forest Research: A Challenge for an Integrated European Approach, p.p. 627 – 632, August 27–1 September 2001, Thessaloniki – Greece, NAGREF – Forest Research Institute, Thessaloniki.
- Tierney, G. L., Fahey, T. J. (2001). Evaluating minirhizotron estimates of root longevity and production in the forest of a temperate broadleaf forest. *Plant and Soil* 229(2): 167-176.
- Van Praag, H. J., Sougne-Remy, S., Weissen, F., Carletti, G. (1988). Root turnover in a beech and a spruce stand of Belgian Ardennes. *Plant and Soil* 105: 87-103.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J., Moore, E. E., Fatuga, B. A., Redlin, M. R., Edmonds, R. L. (1987). Conifer and angiosperm fine-root biomass in relation to stand age and site productivity in Douglas-fir forests. *J. Ecol.* 75: 857-870.
- Vogt, K. A., Grier, C. C., Gower, S. T., Sprugel, D. G., Vogt, D. J. (1986). Overestimation of net root production: a real or imaginary problem? *Ecology* 67(2): 577-579.
- West, J. B., Espeleta, J. F., Donovan, L. A. (2004). Fine root production and turnover across a complex edaphic gradient of a *Pinus palustris-Aristida stricta* savanna ecosystem. *For. Ecol. Manag.* 189: 397-406.
- Whittaker, R. H. (1975). Communities and ecosystems. Second edition. Macmillan Publishing Co., Inc, New York (превод на руски јазик: Уиттекер, Р. (1980). сообщества и экосистемы. Издательство «Прогресс», Москва, 328 стр.).

- Zavitkovski, J., Stevens, R. D. (1972). Primary productivity of Red alder ecosystems. *Ecology* 53(2): 235-242.
- Прелиќ, Д. (2002). Структура на заедницата на почвената макрофауна во буковиот екосистем во Националниот парк «Маврово» во споредба со плоскачево-церовите екосистеми во Македонија. Докторска дисертација. Институт за биологија, Природно-математички факултет, 175 стр.
- Христовски, С. (2004). Деградација на мртвата органска материја во буковиот екосистем *Calamintho grandiflorae-Fagetum* во Националниот парк «Маврово». Магистерска работа. Институт за биологија, Природно-математички факултет-Скопје, 131 стр.
- Христовски, С. (2007). Фитомаса и примарна продукција во буковиот екосистем *Calamintho grandiflorae-Fagetum* во Националниот парк «Маврово». Докторска дисертација. Институт за биологија, Природно-математички факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, 298 стр.

BELOWGROUND PHYTOMASS AND PRODUCTION IN THE BEECH ECOSYSTEM CALAMINTHO GRANDIFLORAE-FAGETUM IN MAVROVO NATIONAL PARK. V. BELOWGROUND PRODUCTION OF TREE AND SHRUB LAYERS

Slavčo HRISTOVSKI¹, Ljupčo MELOVSKI¹, Marjana ŠUŠLEVSKA² & Ljupčo GRUPČE³

¹*Institute of Biology, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Skopje*

²*Farmahem, Skopje*

³*Macedonian Ecological Society, Skopje*

Summary

The main goal of the article is presentation of the results for belowground net-primary production in tree and shrub layers of the investigated beech ecosystem *Calamintho grandiflorae-Fagetum* in Mavrovo National Park in the period 1997-2005. Separate objectives were estimation of belowground net primary production of trees and shrubs, estimation of the participation of root size classes and wood and bark ratio.

Annual increment of coarse roots was estimated by field research while the belowground litter production and fine root production were calculated on the basis of mathematical models.

The annual increment in the tree layer ($1032.2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$) was in the frames of the European average. Annual increment in the shrub layer was significantly lower - $4,61 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$. Annual increment is presented separately for the stump and six diameter classes of roots (>10 cm; 5-10 cm; 3-5 cm; 1,5-3,0 cm; 0,5-1,5 cm and 0,1-0,5 cm), both for trees and shrubs.

The calculated net-primary production was $5930.3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ in the tree layer and $19.77 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ in the shrub layer.