

## EKOFIZIOLOŠKI ODZIV SUNCU IZLOŽENIH SADNICA OBIČNE BUKVE (*Fagus sylvatica* L.) PRI RAZLIČITIM RAZINAMA GNOJIDBE

### ECOPHYSIOLOGICAL RESPONSE OF SUN-EXPOSED COMMON BEECH (*Fagus Sylvatica* L.) SEEDLINGS UNDER DIFFERENT FERTILIZATION LEVELS

Nenad POTOČIĆ<sup>1</sup>, Ivan SELETKOVIĆ<sup>1</sup>, Matjaž ČATER<sup>2</sup>,  
Tomislav ČOSIĆ<sup>3</sup>, MARIO ŠANGO<sup>4</sup>, Mislav VEDRIŠ<sup>4</sup>

**SAŽETAK:** Sušenje obične jele (*Abies alba* Mill.) većih razmjera, prisutno u Hrvatskoj u zadnjih dvadesetak godina, dovelo je do netipičnih stanišnih uvjeta za rast podmlatka obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) na područjima bukovo-jelovih šuma. Ovakav razvoj događaja u kontradikciji je s prihvaćenom šumarskom praksom i poznatim ekološkim zahtjevima bukve (skiofilnost, osjetljivost na sušu).

Da bismo odredili osnovne parametre ekofiziološkog odziva klijanaca bukve na uvjete punog osvjetljenja, postavljen je rasadnički pokus s tri razine gnojidbe (2, 4 i 6 g Osmocote Exact kompleksnog mineralnog gnojiva po litri uzgojnog supstrata), s ciljem oponašanja različitih uvjeta plodnosti tla (niska, optimalna i visoka dostupnost hraniva).

Za svako tretiranje utvrđena je ukupna biomasa klijanaca (lišće, stabljika, korijen) a biljni materijal analiziran je na sadržaj biogenih elemenata (dušika, fosfora, kalija, kalcija i magnezija). Izmjerena je visina i promjer korijenovog vrata biljaka, a morfologija korijena analizirana je pomoću WinRhizo softverskog paketa. Za mjerenja fotosintetskog kapaciteta, krivulje svjetlosnog zasićenja (0, 50, 250, 600 i 1200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) i A-Ci krivulje (0, 100, 400, 700 i 1000  $\mu\text{mol CO}_2/\text{l}$ ) dobivene su pomoću Li-Cor LI-6400 u kontroliranom okruženju.

Visina, promjer i biomasa sadnica povećavala se s dozom gnojiva. Koncentracije N, P i K rasle su s dozom gnojiva, dok su koncentracije Ca i Mg pokazivale negativni učinak prekomjerne gnojidbe pri najvišoj dozi gnojiva. Duljina korijena, površina korijena i broj vrhova bili su najveći u srednjem tretiranju, a korijen se najslabije razvijao pri najvećoj dozi gnojidbe.

U svim tretiranjima asimilacijska sposobnost bila je povezana s masom lišća ( $r^2=0,59$ ), koncentracijom N u lišću ( $r^2=0,44$ ) i korijenu ( $r^2=0,58$ ) kao i koncentracijom P u lišću ( $r^2=0,45$ ).

**Ključne riječi:** Bukva, gnojidba, stanje ishrane, biomasa, fotosinteza

#### UVOD – Introduction

Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) značajna je vrsta drveća središnje i južne Europe gdje zauzima dominant-

no mjesto i po površini i po gospodarskim i ostalim vrijednostima (Matić 2003). U Hrvatskoj bukva je ne samo najraširenija vrsta drveća (744 796 ha), nego je i prva po udjelu u drvnom fondu. U drvnj zalih Republice Hrvatske bukva sudjeluje s oko 36 % (Klepac 2003a).

Bukva pridolazi u različitim fitocenoza, u čistim i mješovitim sastojinama. Uz to, bukove šume u Hrvat-

<sup>1</sup> Dr. sc. Nenad Potočić, dr. sc. Ivan Seletković,  
Šumarski institut, Jastrebarsko

<sup>2</sup> Dr. sc. Matjaž Čater, Gozdarski inštitut Slovenije

<sup>3</sup> Tomislav Čosić, dipl. ing., Agronomski fakultet Zagreb

<sup>4</sup> Mario Šango, dipl. ing. šum., Mislav Vedriš, dipl. ing. šum.  
Šumarski fakultet Zagreb

skoj imaju vrlo široku edafsku amplitudu (Pernar i Bakšić 2003). Na brdskim padinama gdje pridolazi bukva, debljina tla i hraniva često variraju s topografijom, nagibom i stranom svijeta, konkavnosti ili konveksnosti padine, nadmorskom visinom itd. (Ban i Qi 1995). Rezultati kemijskih analiza tla u istraživanju stanja ishrane i rasta obične bukve Rastovskog i Bezaka (1994) ukazuju na veliku heterogenost u kemizmu tla pojedinih lokaliteta. Rasprostranjenost bukve u Hrvatskoj i njezina raširenost u gotovo svim bioklimatima govore o eurivalentnosti bukve kao vrste.

Sušenje obične jele (*Abies alba* Mill.) većih razmjera, prisutno u Hrvatskoj u zadnjih dvadesetak godina, dovelo je do netipičnih stanišnih uvjeta za rast podmlatka obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) na područjima bukovo-jelovih šuma. Ovakav razvoj događaja u kontradikciji je s prihvaćenom šumarskom praksom i poznatim ekološkim zahtjevima bukve.

Od svih europskih listača, bukva je najskiofilnija vrsta – kompenzacijska joj se točka ne razlikuje mnogo od kompenzacijske točke obične jele. Zasićenost gredica zasijanih bukvom nužna je mjera njege biljaka u rasadniku (Matić i dr. 2003a). Ipak, na pojavu svjetla u sastojini bukva reagira puno brže od svojih pratilaca, iskrivljujući se prema izvoru svjetla (Seletković, Tikvić, Prpić 2003). U prebornim bukovim sastojinama moguće je primjenjivati stabilnično, grupično i skupinasto gospodarenje, međutim grupično i skupinasto gospodarenje preporuča se samo kod povoljnih ekoloških prilika (Klepac 2003b).

Pomlađivanje regularnih bukovih sastojina obavlja se pod zastorom krošanja starih stabala oplodnim sjemčama, u tri do pet sijekova, s pomladnim razdobljem u trajanju 10–20 godina. Pri naglom otvaranju sklopa u većini slučajeva ne uspijevamo pomladiti sastojinu zbog šteta od mraza, korova i žege (Matić i dr. 2003b). Matiće i dr. (2003b, prema Petračiću 1931) navode kako je bukov mladi naraštaj osjetljiv na mraz i sušu. Larsen (2007) naglašava veliko značenje ranog rasta sadnica za obnovu bukovih sastojina. Posebice su važne za obnovu šuma interakcije svjetlosti i hranidbenog statusa biljaka.

Osnovni zakoni biljne ishrane vrijede za sve biljke, a dobar i zdrav rast možemo postići samo ako su svi čimbenici rasta dovoljno prisutni i nalaze se u pravilnom odnosu (Baule i Fricke 1971). Primjena NPK gnojiva pozitivno utječe na kvalitetu sadnica šumskih vrsta drveća, njihovu visinu i biomasu (Marović i dr. 1989). Malen je broj pokusa s dušičnom gnojivom bukve u ranim stadijima razvoja (Bagherzadeh, Brumme i Beese 2008), a rezultati istraživanja utjecaja dušične gnojivbe na rast i produkciju biomase su nekonzistentni (Kenk i Fischer 1988).

Voda i svjetlost su, uz tlo, osnovni okolišni čimbenici koji upravljaju procesima u biljkama (Larcher

1995). Neposredno utječu na intenzitet fotosinteze i neto primarnu produkciju, a posredno na skoro sve procese značajne za život biljaka. Dosadašnje spoznaje (Burschel i Schmaltz 1965, Huss i Stephani 1978, Suner i Röhrig 1980, von Lüpke 1987, Kazda et al. 2005, Čater i Simončić 2006) govore kako svjetlost ima najvažniju ulogu u razvoju sadnica. Izmjere fotosinteze u ovisnosti od različitog intenziteta svjetlosti omogućuju izradu svjetlosnih saturacijskih krivulja, određivanje kompenzacijskih točaka za svjetlost – LCP L (gdje su produkcija i utrošak tvari izjednačeni), učinkovitost fotosinteze i maksimalni stupanj asimilacije ( $A_{max}$ ). A-CO<sub>2</sub> krivulje daju ovisnost asimilacije o različitim koncentracijama CO<sub>2</sub>. Poznavanjem tih vrijednosti možemo odrediti kompenzacijsku točku za CO<sub>2</sub> (LCP A-CO<sub>2</sub>), učinkovitost karboksilacije te stomatalna i karboksilacijska ograničenja fotosinteze.

Pomanjkanje vode utječe na fosforilaciju i tvorbu spojeva bez kojih nije moguća osmoregulacija, aktivni transport spojeva i redukcija CO<sub>2</sub>. U procesu izmjene plinova je uz CO<sub>2</sub> voda čimbenik od kojemu ovisi otvorenost lisnih puči (Dreyer i dr. 1995). Posljedica nedostatka vode je veća koncentracija abscisinske kiseline, koja utječe na zatvaranje puči i smanjeno vezanje ugljika, smanjena neto fotosinteza i koncentracija enzima, koji sudjeluju u sintezi bjelančevina, dijeljenje stanica i rast biljke (Larcher 1995). Taj je proces reverzibilan u slučaju da voda ponovo postane dostupna, osim ukoliko nije došlo do prekomjernog smanjenja koncentracije vode u protoplazmi, to jest smrti biljke. S obzirom na prognoze i scenarije povećanja atmosferskog CO<sub>2</sub> u budućnosti, očekuje se povećanje sinteze proteina u lišću, C/N odnosa i povećan ukupni rast biljaka (Kimball 1993, Kohlen et al. 1993, Ghanoum et al. 2000). Povećana asimilacija naravno zahtijeva posljedično veću količinu hraniva.

Općenito, fiziološki procesi kao što su fotosinteza i stanje ishrane smatraju se dobrim indikatorima stresa (Izuta i dr. 2004).

Prognoze budućeg odziva biljaka na promijenjene stanišne uvjete su često kontradiktorne i ostaju predmetom rasprave brojnih istraživača (Lloyd i Farquhar 1996, Poorter 1998). Cilj ove studije je bio unaprijediti fundamentalno razumijevanje utjecaja svjetla i pristupačnosti hraniva u ranom razvoju bukovih sadnica. Rast i razvoj bukovih sadnica u prvoj godini je itekako važan za njihovo kasnije preživljavanje i razvoj (Larsen 2007). Da bismo odredili osnovne parametre ekofiziološkog odziva klijanaca bukve na uvjete punog osvjetljenja, postavljen je rasadnički pokus s tri razine gnojivbe, s ciljem oponašanja različitih uvjeta plodnosti tla (niska, optimalna i visoka dostupnost hraniva).

## MATERIJALI I METODE – Materials and methods

Pokus je postavljen u rasadniku Hajderovac (Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, Šumarija Kutjevo, UŠP Požega) u proljeće 2007. godine, kao randomizirani blok s tri tretiranja i tri ponavljanja. Tretiranja su bila sljedeća: I - 2 g Osmocote standard 5-6 mjeseci (mineralno gnojivo s produženim djelovanjem sastava 15 %N, 9 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 9 % K<sub>2</sub>O, 3 % MgO, 0.02% B, 0.05 % Cu, 0.40 % Fe, 0.06 % Mn, 0.02 % Mo, 0.015 % Zn) po litri supstrata, II - 4 g/l, III - 6 g/l. Proizvođač (Scotts professional, Heerlen, Nizozemska, www.scottspprofessional.com) preporučuje koncentraciju od 4 g gnojiva po litri supstrata kao optimalnu. Za uzgojni supstrat korišten je Litvanski treset, s pH (H<sub>2</sub>O) 6,6, a sadnice bukve uzgajane su iz sjemena u QPD 12T/18 kontejnerima volumena 750 cm<sup>3</sup>. Sadnice su bile uzgajane bez zaszjene, osim zaszjene koju su zbog gustog rasporeda sadnje sadnice pružale jedna drugoj, te u režimu zalijevanja gdje su kontejneri zalijevani do punog zasićenja supstrata, a zalijevanje je ponavljano kada se supstrat osušio toliko da se odvaja od stijenke kontejnera.

Uzorci biljnog materijala za kemijske analize (lišće, stabljike, korijen) 5 biljaka po tretiranju/ponavljanju uzeti su u srpnju 2007. godine. Uzorci su sušeni na 105 °C do konstantne mase te izvagani na vagi točnosti 0,01 gram. U usitnjenim uzorcima određen je ukupni dušik na elementarnom analizatoru Leco CNS 2000. Za analize ostalih biogenih elemenata (AOAC, 1996) usitnjeni uzorci spaljeni su mokrim postupkom koncentriranom sumpornom kiselinom (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) uz dodatak katalizatora, perklorne kiseline (HClO<sub>4</sub>). U uzorcima su određeni: fosfor kolorimetrijski na UV/VIS spektrofotometru PE Lambda 1A, a kalij, kalcij i magnezij izravno iz filtrata na atomskom apsorpcijskom spektrofotometru PE 3110.

Izmjere fotosinteze obavljene su u srpnju 2007. godine na po jednoj prosječnoj biljci u svakom tretiranju/ponavljanju pomoću Li-Cor LI-6400 prenosivog sustava s kivetom za listače i izvorom svjetlosti. Sustav izmjeru temelji se na razlikama CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O tijekom zraka koji prolazi kroz mjernu kivetu. Upotrijebili smo miješalicu s izvorom CO<sub>2</sub> za održavanje točne koncentracije. Su-

stav kontrolira svjetlost, temperaturu, koncentraciju H<sub>2</sub>O i CO<sub>2</sub> te protok plinova iz čega izračunava asimilaciju. Svjetlosne saturacijske krivulje dobivene su na konstantnoj temperaturi (20 °C), 350 μmol CO<sub>2</sub>/l i različitim intenzitetima svjetlosti (0, 50, 250, 600 and 1200 μmol/m<sup>2</sup>s), a A-CO<sub>2</sub> krivulje pri konstantnom intenzitetu svjetlosti (800 μmol/m<sup>2</sup>s) i različitim koncentracijama CO<sub>2</sub> (0, 100, 400, 700 i 1000 μmol CO<sub>2</sub>/l). U nastavku teksta koristit ćemo sljedeće kratice: asimilacija pri najvećem intenzitetu svjetlosti = A<sub>max</sub> L, asimilacija pri najvećoj koncentraciji CO<sub>2</sub> = A<sub>max</sub> CO<sub>2</sub>, kompenzacijska točka za svjetlost = LCP L, kompenzacijska točka za CO<sub>2</sub> = LCP A-CO<sub>2</sub>.

Visine i promjeri vrata korijena izmjereni su u rujnu 2007. godine i izračunate srednje vrijednosti za svako tretiranje/ponavljanje. Po tri sadnice u svakom ponavljanju x tretiranju najbliže tim srednjim vrijednostima po visini, a zatim po promjeru, uzorkovane su radi određivanja biomase lišća, stabljika i korijenja.

Korijen je ispran vodom, osušen celuloznom staničevinom i skeniran. Za analizu pomoću softverskog paketa WinRhizo odabrani su sljedeći parametri: ukupna duljina korijena, površina projekcije, oplošje korijena, prosječni promjer, volumen i broj vrhova.

Za mjerene varijable izračunate su aritmetičke sredine i standardna devijacija po tretiranjima (koncentracijama gnojiva), a za parametre korijena i po ponavljanjima. Utjecaj tretiranja (razine gnojidbe) na kemijski sastav, fotosintezu, te rast stabljike i korijena ispitan je jednostrukom analizom varijance. Analize su napravljene uz razinu značajnosti 0,05. Statistički značajne razlike dodatno su ispitane Tukey-ovim *post hoc* testom. Međusobna povezanost pojedinih varijabli iskazana je Pearsonovim koeficijentom korelacije (r), uz razinu statističke značajnosti 0,05. Za izračun korelacije korišteni su prosječni podaci svake analize po tretiranju/ponavljanju (devet podataka za svaku varijablu), jer su mjerenja raznih varijabli napravljena na različitom broju biljaka. Za statističku obradu i grafičke prikaze korišten je programski paket Statistica 7.1 (Statsoft, Inc. 2006).

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA – Results and discussion

**Koncentracije biogenih elemenata u lišću, stabljici i korijenu**  
*Concentrations of mineral nutrients in leaves, stems and roots*

Tablica 1. Normalne koncentracije biogenih elemenata u potpuno razvijenom lišću obične bukve (Bergmann 1992).

Table 1. Normal concentrations of mineral nutrients in fully developed leaves of common beech (Bergmann 1992).

Element	N	P	K	Ca	Mg
<i>Mineral nutrient</i>					
(mg/g suhe tvari)	19,0-	1,5-	10,0-	3,0-	1,5-
(mg/g DW)	25,0	3,0	15,0	15,0	3,0

Tablica 2. Deskriptivna statistika i rezultati analize varijance za koncentracije biogenih elemenata u lišću bukve  
 Table 2 Descriptive statistics and the results of ANOVA for concentrations of mineral nutrients in beech leaves

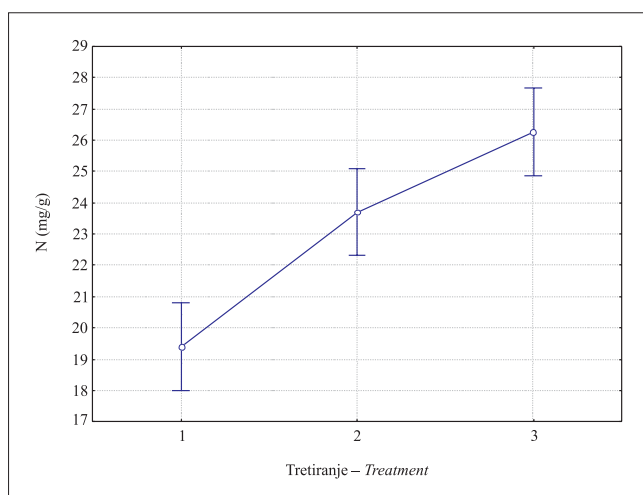
Koncentracija u lišću Concentration in leaves	Tretiranje Treatment	N	a.s.	ANOVA			Tukey post hoc
				st.dev.	F	p	
N (mg/g)	Σ	9	23,1222	3,1232			
	tretiranje 1	3	19,4000	0,4583			
	tretiranje 2	3	23,7000	0,2646			
	tretiranje 3	3	26,2667	1,6197	37,3169	0,0004	(1) (2) (3)
P (mg/g)	Σ	9	1,9667	0,3472			
	tretiranje 1	3	1,6100	0,1308			
	tretiranje 2	3	1,9233	0,1762			
	tretiranje 3	3	2,3667	0,0231	26,7308	0,0010	(1,2) (3)
K (mg/g)	Σ	9	9,3944	0,7844			
	tretiranje 1	3	8,9500	0,4359			
	tretiranje 2	3	8,9833	0,6429			
	tretiranje 3	3	10,2500	0,4583	6,0779	0,0361	(1,2) (3)
Ca (mg/g)	Σ	9	14,6222	0,7446			
	tretiranje 1	3	14,2667	0,6429			
	tretiranje 2	3	15,1000	1,0000			
	tretiranje 3	3	14,5000	0,5000	1,0000	0,4219	
Mg (mg/g)	Σ	9	2,9333	0,3969			
	tretiranje 1	3	3,1000	0,6245			
	tretiranje 2	3	2,9000	0,4000			
	tretiranje 3	3	2,8000	0,1000	0,3750	0,7023	

U usporedbi s literaturnim podacima o normalnim koncentracijama biogenih elemenata u lišću bukve (Tablica 1., Bergmann 1992) koncentracije fosfora, kalcija i magnezija nalaze se unutar raspona normalnih vrijednosti. Koncentracije dušika u tretiranju 6 g gnojiva/l supstrata više su, a koncentracije kalija u tretiranju 2 g/l niže su od normalnih.

Koncentracije dušika (Slika 1.), fosfora i kalija u lišću rastu s dozom gnojiva. Koncentracije magnezija reagiraju negativno na povećanu fertilizaciju, iako te razlike nisu

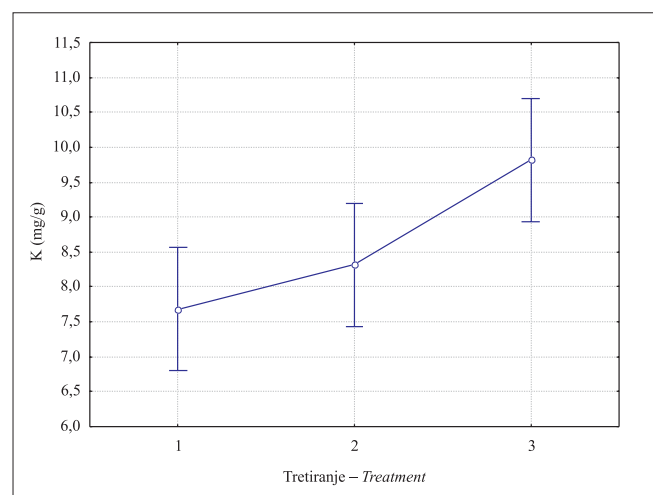
statistički značajne (Tablica 2.). Također nije utvrđena negativna korelacija koncentracija dušika, fosfora ili kalija s koncentracijama kalcija kojega Osmocote gnojivo ne sadrži. Dapače, pri srednjoj gnojidbi koncentracije kalcija su se čak povećale kao posljedica općenito boljeg statusa ishrane biljaka u pokusu, dok je gnojidba u količini 6g/l supstrata imala negativan učinak na koncentraciju kalcija.

Sličan učinak gnojidbe koji indicira neravnotežu biogenih elemenata pri najvećoj dozi gnojiva utvrdili smo i u stabljici i korijenu.



Slika 1. Koncentracije dušika (mg/g suhe tvari) u lišću sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 1 Nitrogen concentrations (mg/g DW) in beech leaves by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



Slika 2. Koncentracije kalija (mg/g suhe tvari) u stabljikama sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 2 Potassium concentrations (mg/g DW) in beech stems by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

Koncentracija dušika u listu utjecala je pozitivno na masu lišća ( $r = 0,72$ ), masu stabljike ( $r = 0,78$ ), te asimilaciju ( $r = 0,67$ ). Koncentracije fosfora, kalija, kal-

cija i magnezija u lišću nisu povezane s biomasom niti asimilacijom.

Tablica 3. Deskriptivna statistika i rezultati analize varijance za koncentracije biogenih elemenata u stabljikama bukve  
Table 3 Descriptive statistics and the results of ANOVA for concentrations of mineral nutrients in beech stems

Koncentracija u stabljici Concentration in stem	Tretiranje Treatment	N	a.s.	ANOVA			Tukey post hoc
				st.dev.	F	p	
N (mg/g)	Σ	9	13,1444	2,2523			
	tretiranje 1	3	10,7000	0,8888			
	tretiranje 2	3	13,0333	0,7767			
	tretiranje 3	3	15,7000	0,3464	37,2247	0,0004	(1) (2) (3)
P (mg/g)	Σ	9	2,6044	0,5267			
	tretiranje 1	3	2,0433	0,1662			
	tretiranje 2	3	2,5633	0,0231			
	tretiranje 3	3	3,2067	0,2501	33,6983	0,0005	(1,2) (3)
K (mg/g)	Σ	9	8,6056	1,0921			
	tretiranje 1	3	7,6833	0,1528			
	tretiranje 2	3	8,3167	0,3786			
	tretiranje 3	3	9,8167	1,0017	9,2336	0,0147	(1,2) (2,3)
Ca (mg/g)	Σ	9	10,7667	0,7194			
	tretiranje 1	3	11,1000	1,0583			
	tretiranje 2	3	10,6667	0,4041			
	tretiranje 3	3	10,5333	0,7234	0,4373	0,6648	
Mg (mg/g)	Σ	9	1,3889	0,2028			
	tretiranje 1	3	1,2667	0,1528			
	tretiranje 2	3	1,5000	0,3000			
	tretiranje 3	3	1,4000	0,1000	1,0000	0,4219	

Za razliku od pokusa Bagherzadeha, Brummea i Beesea (2008), koji nisu dobili značajan učinak gno-

jidbe dušikom na koncentracije ostalih kationa i aniona u biljnom materijalu, koncentracije dušika, fosfora i

Tablica 4. Deskriptivna statistika i rezultati analize varijance za koncentracije biogenih elemenata u korijenju bukve  
Table 4 Descriptive statistics and the results of ANOVA for concentrations of mineral nutrients in beech roots

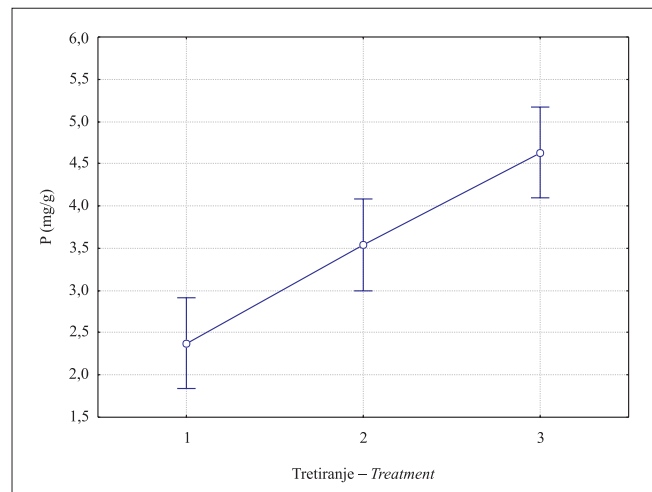
Koncentracija u korijenu Concentration in root	Tretiranje Treatment	N	a.s.	ANOVA			Tukey post hoc
				st.dev.	F	p	
N (mg/g)	Σ	9	13,5556	2,4582			
	tretiranje 1	3	10,8333	1,8877			
	tretiranje 2	3	13,8333	0,3215			
	tretiranje 3	3	16,0000	0,5568	15,2347	0,0045	(1) (2,3)
P (mg/g)	Σ	9	3,5156	1,0321			
	tretiranje 1	3	2,3767	0,3156			
	tretiranje 2	3	3,5367	0,2871			
	tretiranje 3	3	4,6333	0,5085	26,0128	0,0011	(1) (2) (3)
K (mg/g)	Σ	9	9,5167	2,1401			
	tretiranje 1	3	7,7500	0,3606			
	tretiranje 2	3	9,2833	2,1455			
	tretiranje 3	3	11,5167	1,6803	4,2730	0,0702	
Ca (mg/g)	Σ	9	8,7111	1,6870			
	tretiranje 1	3	9,0667	2,3671			
	tretiranje 2	3	7,9667	0,8505			
	tretiranje 3	3	9,1000	1,9519	0,3693	0,7059	
Mg (mg/g)	Σ	9	2,3667	0,4717			
	tretiranje 1	3	2,3000	0,8185			
	tretiranje 2	3	2,5333	0,3786			
	tretiranje 3	3	2,2667	0,1155	0,2298	0,8013	

kalija u stabljici značajno rastu s dozom gnojiva (kao i u lišću), koncentracije kalcija padaju (ali ne statistički značajno), a koncentracije magnezija rastu do gnojidbe 4 g/l, a zatim padaju, ali ne ispod vrijednosti utvrđenih za gnojidbu 2 g/l supstrata (Tablica 3., Slika 2).

Koncentracija dušika u stabljici pozitivno korelira s masom lišća ( $r = 0,69$ ) i asimilacijom ( $r = 0,67$ ), koncentracija fosfora korelira pozitivno s asimilacijom ( $r = 0,67$ ), a koncentracija kalcija korelira negativno s asimilacijom ( $r = -0,80$ ) i disanjem ( $r = -0,70$ ). Ovo pripisujemo bržem rastu intenzivnije gnojnih biljaka za koji je odgovoran ponajprije dušik.

Koncentracije dušika i fosfora (Slika 3) u korijenu signifikantno su rasle s dozom gnojiva; koncentracije ostalih analiziranih elemenata nisu imale tako jasan trend (Tablica 4). Zanimljivo je kako je utvrđena pozitivna korelacija ( $r = 0,68$ ) koncentracija kalcija u korijenu i prosječnog promjera korijena, što je posljedica gradivne uloge kalcija u biljnom organizmu (Marschner 2002, Bergmann 1992).

Koncentracija dušika u korijenu pozitivno korelira s asimilacijom ( $r = 0,76$ ), a fosfor pozitivno korelira s masom lista ( $r = 0,67$ ) i stabljike ( $0,68$ ). Ovo ne znači



Slika 3. Koncentracije fosfora (mg/g suhe tvari) u korijenu sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 3 Phosphorus concentrations (mg/g DW) in beech roots by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

izravan utjecaj fosfora u korijenu na rast biomase, već pokazuje da su biljke kod viših razina gnojidbe, koje su rezultirale većom masom nadzemnog dijela biljke, pohranjivale dio fosfora u korijen kao rezervu.

### Visine biljaka i promjer vrata korijena Height of plants and root collar diameter

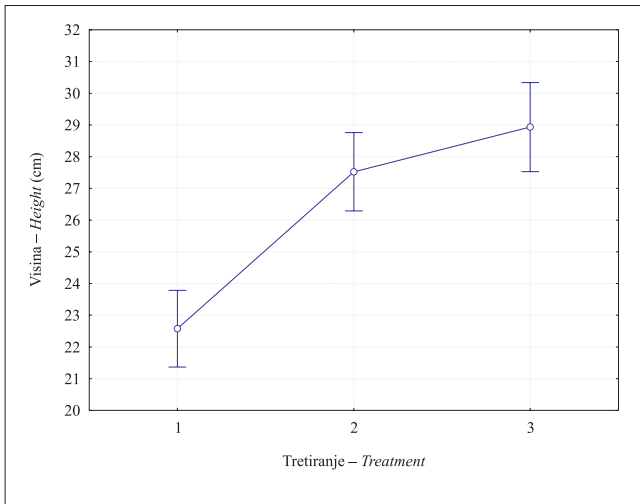
Tablica 5. Deskriptivna statistika i rezultati analize varijance za visine i promjer vrata korijena bukovih sadnica  
Table 5 Descriptive statistics and the results of ANOVA for heights and root collar diameter of beech seedlings

Izmjera Measurement	Tretiranje Treatment	N	a.s.	ANOVA			Tukey post hoc
				st.dev.	F	p	
Visina (cm) Height	Σ	332	26,0783	7,3262			
	tretiranje 1	123	22,5772	6,4019			
	tretiranje 2	118	27,5254	6,9056			
	tretiranje 3	91	28,9341	7,2185	26,9004	0,0000	(1) (2,3)
Promjer vrata korijena (mm) Root collar diameter	Σ	332	4,3705	1,0937			
	tretiranje 1	123	3,7642	0,9350			
	tretiranje 2	118	4,6441	1,0744			
	tretiranje 3	91	4,8352	0,9459	37,6177	0,0000	(1) (2,3)

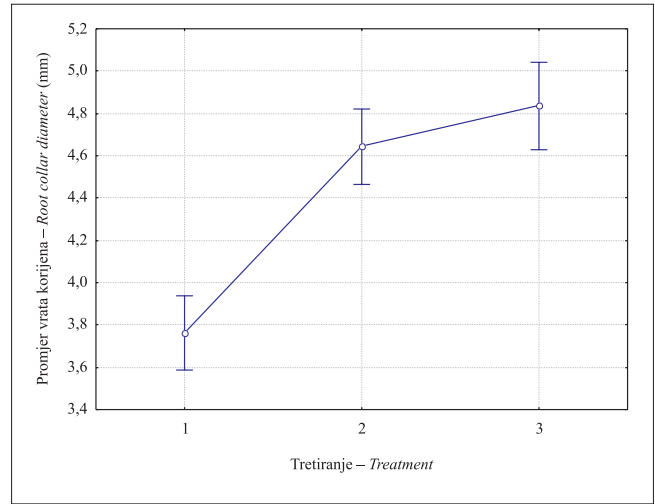
Visine sadnica i njihov promjer vrata korijena imaju povoljan odziv na povećane doze gnojiva, iako nismo utvrdili statistički značajne razlike tretiranja 2 i 3 (4 g/l, odnosno 6 g/l). Prema istraživanjima Stilinovića (1987) promjer korijenovog vrata jedan je od najvažnijih kriterija kvalitete sadnica listača, međutim, klasiranje sadnica bukve u našoj praksi provodi se samo prema kriteriju visine sadnica: prva klasa 20–30 cm, druga klasa 10–20 cm). Prema toj klasifikaciji sadnice iz svih tretiranja pripadaju u prvu klasu kvalitete. U našem drugom pokusu (Seletković i Potočić, neobjavljeno) u kojemu su sadnice uzgajane u supstratu koji odgovara srednjem tretiranju u ovom pokusu, uz korištenje zasjene, dobivene su znatno više vrijednosti: srednji pro-

mjer vrata korijena od 4,8 do 5,4 mm (u ovisnosti o ponavljanju), a visine sadnica od 37,9 do 42,0 cm.

Visina i promjer vrata korijena u pozitivnoj su korelaciji s biomasom lišća ( $r_{\text{visina}} = 0,87$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,80$ ) i stabljike ( $r_{\text{visina}} = 0,68$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,86$ ), koncentracijama dušika ( $r_{\text{visina}} = 0,88$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,92$ ) i fosfora u lišću ( $r_{\text{visina}} = 0,80$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,80$ ), dušika u stabljici ( $r_{\text{visina}} = 0,85$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,85$ ), fosfora u stabljici ( $r_{\text{visina}} = 0,82$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,84$ ), dušika u korijenu ( $r_{\text{visina}} = 0,88$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,79$ ), fosfora u korijenu ( $r_{\text{visina}} = 0,85$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,87$ ), asimilacijom ( $r_{\text{visina}} = 0,86$ ,  $r_{\text{promjer}} = 0,64$ ) i disanjem biljaka ( $r_{\text{visina}} = 0,73$ ).



Slika 4. Visine sadnica bukve (cm) po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.  
 Figure 4 Beech seedling heights (cm) by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



Slika 5. Promjer vrata korijena (mm) po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.  
 Figure 5 Root collar diameter (mm) by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

### Biomasa – Biomass

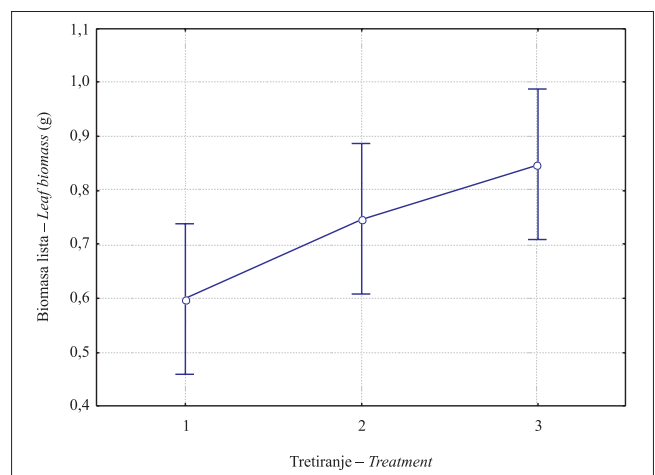
Tablica 6. Deskriptivna statistika i rezultati analize varijance za biomasu lišća, stabljika i korijena bukovih sadnica  
 Table 6 Descriptive statistics and the results of ANOVA for biomass of leaves, stems and roots of beech seedlings

Dio biljke Plant part	Tretiranje Treatment	N	a.s.	ANOVA			Tukey post hoc
				st.dev.	F	p	
Biomasa lišća (g) Leaf biomass	Σ	9	0,7310	0,1389			
	tretiranje 1	3	0,5989	0,1183			
	tretiranje 2	3	0,7468	0,0528			
	tretiranje 3	3	0,8473	0,1162	4,6377	0,0606	
Biomasa stabljike (g) Stem biomass	Σ	9	2,3900	0,7481			
	tretiranje 1	3	1,4900	0,2484			
	tretiranje 2	3	2,9256	0,4937			
	tretiranje 3	3	2,7544	0,2976	14,0442	0,0055	(1) (2,3)
Biomasa korijena (g) Root biomass	Σ	9	2,5211	0,2586			
	tretiranje 1	3	2,5311	0,0342			
	tretiranje 2	3	2,6633	0,1525			
	tretiranje 3	3	2,3689	0,4217	0,9678	0,4322	

Biomasa lišća raste s dozom gnojiva, iako razlike nisu statistički značajne. Biomasa stabljika najveća je u srednjem tretiranju, a masa korijena također je najveća u tretiranju 2 (4g/l), s time da je u tretiranju 3 niža i od tretiranja 1. Unatoč tomu što ta razlika nije statistički značajna, ona naglašava nepovoljne uvjete za razvoj korijena pri najmanjem i najvećem tretiranju, a izmjere biomase pokazuju kako su biljke investirale u određene dijelove: pri najvećoj dozi gnojiva, povećano je investiranje u nadzemni u odnosu na podzemni dio, što je u skladu s općim zapažanjima o rastu biljaka gdje se različiti dijelovi biljke međusobno kontroliraju i rastu u ravnoteži (Cannell i Dewer 1994). Takvo povećanje

nje rasta i drukčija alokacija biomase iz korijena u izbojke, obično se povezuje s povećanom dostupnosti

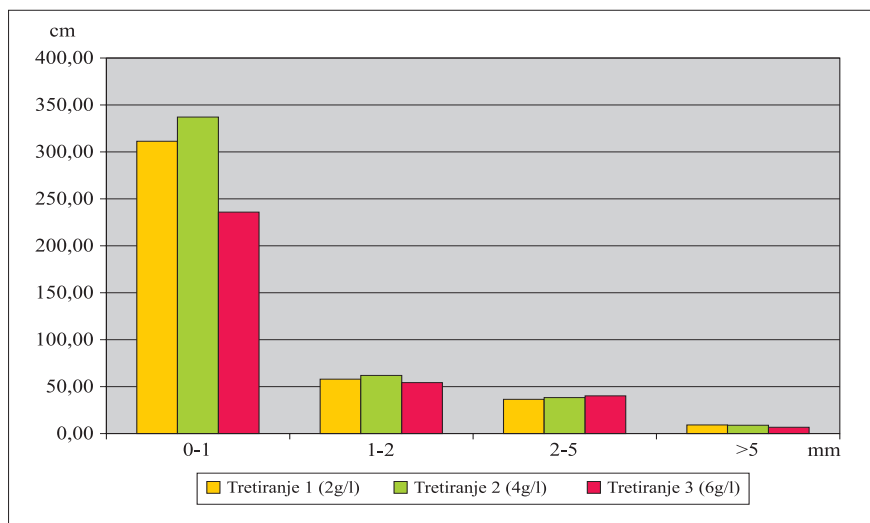
Slika 6. Biomasa (g suhe tvari) lišća bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.  
 Figure 6 Biomass (g DW) of beech leaves by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



dušika (Cannell 1985, Evans 1989). Činjenica kako nisu utvrđene značajnije korelacije mase korijena s bilo kojim analiziranim parametrom, također poka-

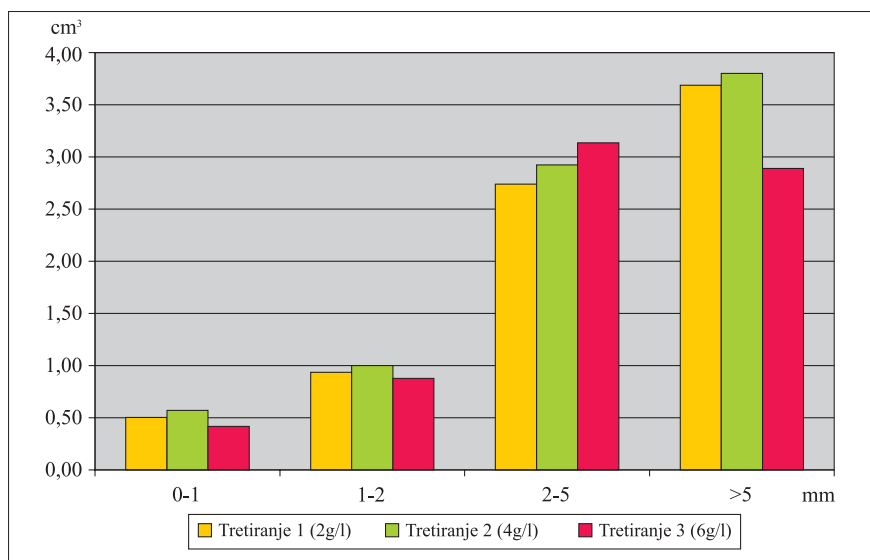
zuje kako korijen prilagođava svoju veličinu prema dostupnosti hraniva u supstratu.

### Morfološka svojstva korijena – Root morphological properties



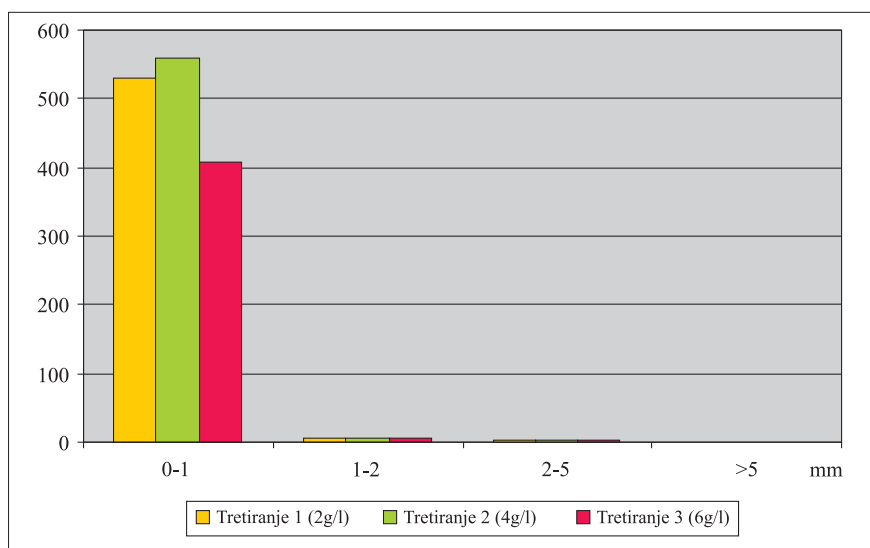
Slika 7. Duljina korijena (cm) po tretiranjima i klasama promjera korijena (0-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm, >5 mm).

Figure 7 Root length (cm) by treatment and root diameter class (0-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm, >5 mm).



Slika 8. Volumen korijena (cm<sup>3</sup>) po tretiranjima i klasama promjera korijena (0-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm, >5 mm).

Figure 8 Root volume (cm<sup>3</sup>) by treatment and root diameter class (0-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm, >5 mm).



Slika 9. Broj vrhova korijena po tretiranjima i klasama promjera korijena (0-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm, >5 mm).

Figure 9 Number of root tips by treatment and root diameter class (0-1 mm, 1-2 mm, 2-5 mm, >5 mm).



Pozitivan utjecaj gnojiva na uspijevanje sadnica vidi se i kroz formiranje dobro razvijenog korijenovog sustava s većim brojem postranih žila (Šijačić-Nikolić, Vilotić i Radošević 2006).

Međutim, pri visokim dozama gnojiva učinak može biti i suprotan: analiza morfologije korijena u našem pokusu pokazuje slab razvoj korijena pri najvećoj dozi gnojiva kao rezultat visoke dostupnosti hraniva. Iako nisu utvrđene statistički značajne razlike tretiranja, sva

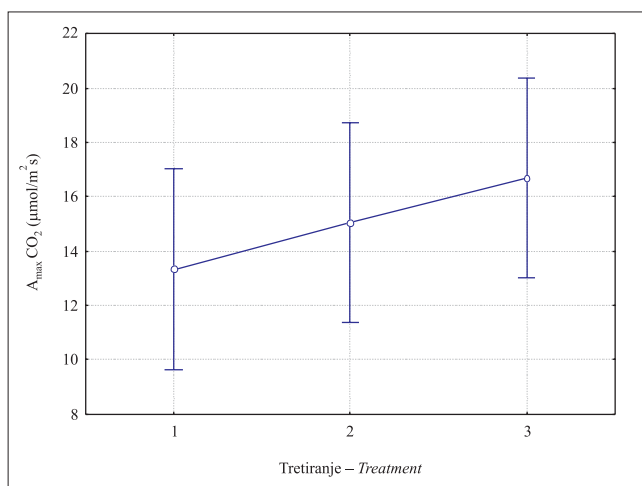
analizirana morfološka svojstva (duljina korijena, volumen korijena, broj vrhova) pokazuju sličan razvoj korijena prema intenzitetu gnojidbe. Ovi rezultati odgovaraju zapažanjima Bagherzadeha, Brummea i Beesea (2008) iz pokusa s dušičnom gnojidbom dvogodišnjih sadnica bukve.

Duljina korijena pozitivno korelira s brojem vrhova ( $r = 0,93$ ), a negativno s prosječnim promjerom korijena ( $r = -0,82$ ).

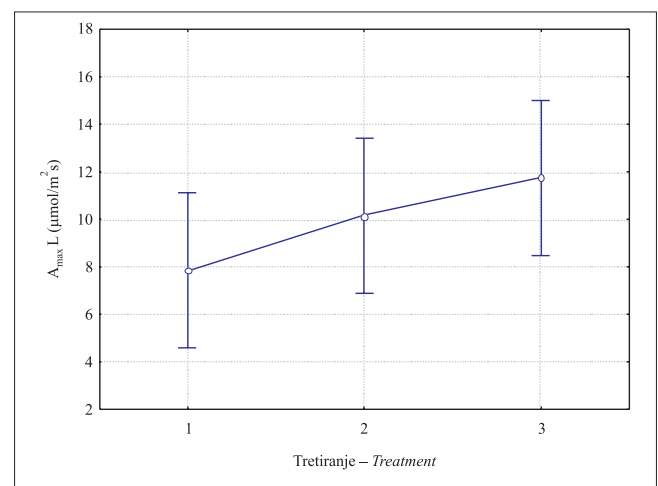
### Asimilacija u odnosu na svjetlost i CO<sub>2</sub> Assimilation in relation to light and CO<sub>2</sub>

Tablica 7. Deskriptivna statistika i rezultati analize varijance za maksimalnu asimilaciju u ovisnosti o svjetlosti i CO<sub>2</sub>.  
Table 7 Descriptive statistics and the results of ANOVA for maximum assimilation in relation to light and CO<sub>2</sub>

Fotosinteza Photosynthesis	Tretiranje Treatment	N	a.s.	ANOVA			Tukey post hoc
				st.dev.	F	p	
A max L	Σ	9	9,9300	2,6327			
	tretiranje 1	3	7,8567	3,0536			
	tretiranje 2	3	10,1667	1,6258			
	tretiranje 3	3	11,7667	2,0404	2,1558	0,1970	
LCPL	Σ	9	13,1367	3,6987			
	tretiranje 1	3	13,5767	4,2394			
	tretiranje 2	3	12,3667	3,5218			
	tretiranje 3	3	13,4667	4,7962	0,0755	0,9282	
A max CO <sub>2</sub>	Σ	9	15,0333	2,6893			
	tretiranje 1	3	13,3333	1,0263			
	tretiranje 2	3	15,0667	2,2546			
	tretiranje 3	3	16,7000	3,7802	1,2489	0,3520	
LCPA-CO <sub>2</sub>	Σ	9	60,5556	18,3515			
	tretiranje 1	3	82,0000	15,3948			
	tretiranje 2	3	51,0000	2,6458			
	tretiranje 3	3	48,6667	8,0208	10,1070	0,0120	(1) (2,3)



Slika 10. Maksimalna asimilacija (µmol/m<sup>2</sup>s) u ovisnosti od CO<sub>2</sub>. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.  
Figure 10 Maximum assimilation (µmol/m<sup>2</sup>s) in relation to CO<sub>2</sub>. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



Slika 11. Maksimalna asimilacija (µmol/m<sup>2</sup>s) u ovisnosti od svjetlosti. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.  
Figure 11 Maximum assimilation (µmol/m<sup>2</sup>s) in relation to light. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

A<sub>max</sub> postiže više vrijednosti uz stalni intenzitet svjetlosti (800 µmol/m<sup>2</sup>s) i različite koncentracije CO<sub>2</sub> nego u slučaju svjetlosnih krivulja (konstantni CO<sub>2</sub>);

izračunate točke kompenzacije značajno se razlikuju između tretiranja 1 i 2, kao i 1 i 3.

$A_{\max} L$  povećava se s koncentracijom dušika u svim dijelovima biljke (list:  $r = 0,67$ , stabljika:  $r = 0,67$ , korijen:  $r = 0,76$ ), i povećanom masom lišća ( $r = 0,77$ ).

Asimilacijske vrijednosti bukovog pomlatka nalaze se u okviru vrijednosti izmjerenih u prirodnim sastoj-

nama bukve na više lokacija u Sloveniji u 2005. i 2006. godini pri istim uvjetima mjerenja – na otvorenome, bez zastora krošanja (Čater, neobjavljeno, Tablica 8.). Bukove sadnice su pri različitim količinama  $CO_2$  pokazale nešto više vrijednosti  $A_{\max}$  nego mjerenja na terenu.

Tablica 8. Vrijednosti  $A_{\max} L$  i  $A_{\max} - CO_2$  u prirodnim bukovim sastojinama u Sloveniji  
Table 8 Values of  $A_{\max} L$  and  $A_{\max} - CO_2$  in beech natural stands in Slovenia

Ploha - Plot	$A_{\max} L$ ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )	$A_{\max} CO_2$ ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )
Brička	11,9±1,1	12,3±0,5
Kladje	10,6±0,9	10,1±0,6
Vrhovo	13,0±0,8	9,4±0,8
Snežna jama	8,0±0,7	9,8±0,5
Rajhenav	8,3±0,7	13,4±1,0

### ZAKLJUČCI – Conclusions

S obzirom da je ovo istraživanje provedeno za vrijeme prve godine starosti bukovih sadnica, postignuti rezultati mogu se primijeniti u praksi samo uz određeni oprez. Međutim, odziv biljaka na gnojidbu bio je uvijek u skladu s našim očekivanjima, a razlikovao se prema istraživanom parametru. Bez obzira na uvjete punog osvjjetljenja sadnica i neredovitu opskrbu vodom u svim fazama uzgoja u rasadniku, možemo zaključiti kako su sadnice pokazale standardan ekofiziološki odziv na gnojidbena tretiranja, što nam govori kako bi unatoč promijenjenim stanišnim uvjetima u bukovo-jelovim sastojinama pomladak bukve mogao zadržati sposobnost prilagodbe okolišu.

Svjetlost, hraniva, voda i  $CO_2$  su abiotski čimbenici važni za rast, što potvrđuju i rezultati našeg pokusa.

Sporiji rast sadnica bukve u pokusu, uzimajući u obzir da mjereni ekofiziološki parametri nisu bili poremećeni, vjerojatno je posljedica ograničene dostupnosti vode uslijed povećane transpiracije. U istraživanju odnosa utjecaja klime na oštećenost krošanja bukve na Medvednici (Seletković i dr. 2008) utvrđeno je kako oborina ima dominantno značenje za vitalitet bukve.

Činjenica da su asimilacija i rast sadnica bili najveći pri najvećoj razini gnojidbe, govori nam o važnosti ishrane za obnovu bukovo-jelovih sastojina zahvaćenih sušenjem jele. Pri tome se najbolji razvoj pomlatka bukve može očekivati na tlima bogatim hranivima.

### LITERATURA – References

- AOAC, 1996: Official methods of analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Bagherzadeh, A., R. Brumme, F. Beese, 2008: Biomass and nutrients allocation in pot cultured beech seedlings: influence of nitrogen fertilizer. *Journal of Forestry Research* 19(4): 263–270.
- Baule, H., C. Fricker, 1971: Đubrenje šumskog drveća. Jugoslovenski poljoprivredno šumarski centar, Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu br. 78, 223 str.
- Bergmann, W. (Ur.), 1992: Nutritional Disorders of Plants – Development, Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena etc., 361 pp.
- Burschel, P., J. Schmaltz, 1965: Die Bedeutung des Lichtes für die Entwicklung junger Buchen. *Allg. Forst- u. Jagdzt.*, 136: 193–210
- Cannell, MGR, 1985: Dry-matter partitioning in tree crops. U: MGR Cannell i JE Jackson (Ur.), *Attributes of Trees as Crop plants*. Huntingdon: Institute of Terrestrial Ecology, pp. 160–193
- Cannell, MGR, RC Dewar, 1994: Carbon allocation in trees: a review of concepts for modelling. *Adv. Ecol. Res.* 25, p. 59–104.
- Čater, M., P. Simončič, 2006: Svetloba, volumska vsebnost vlage v tleh, foliarne analize in biomasa vnešenih bukovih sadik na Brički. U: Simončič, P., Čater, M. (Ur.). Splošne ekološke in gozdnojigjivne osnove za podsadnjo bukve (*Fagus sylvatica* L.) v antropogenih smrekovih sestojih. *Studia forestalia Slovenica*, 129. Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, *Silva Slovenica*, p. 112–123.
- Evans, JR. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, 78: 9–19.
- Ghannoum, O., S. von Caemmerer, L.H. Ziska, J.P. Conroy, 2000: The growth response of C<sub>4</sub> plants to rising atmospheric CO<sub>2</sub> partial pressure: a reassessment. *Plant Cell Environm.*, 23, p. 931–942.

- Izuta, T., T. Yamaoka, T. Nakai, T. Yonekura, M. Yokoyama, R. Funada, T. Koike, T. Totsuka, (2004): Growth, net photosynthesis and leaf nutrient status of *Fagus crenata* seedlings grown in brown forest soil acidified with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> or HNO<sub>3</sub> solution. *Trees* 18: 677–685.
- Kazda, M., M. Čater, J. Cermak, N. Nadhezdina, M. Linnert, B. Lüpke, J. Salzer, I. Schmid, 2005: Light climate, canopy influence and plant reaction. U: Oleskog, G. I Löff, M. (Ur.). The ecological and silvicultural bases for underplanting beech (*Fagus sylvatica* L.) below Norway spruce shelterwood (*Picea abies* L. Karst.). Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, band 139. Frankfurt: J. D. Sauerländer's Verlag, , p. 40–47.
- Kimball, B.A., 1993. Effects of increasing atmospheric CO<sub>2</sub> on vegetation. *Vegetatio*, 104/105, p. 65–83.
- Klepac, D., 2003a: Uređivanje bukovih šuma. Uvod. U: (Matić, S., Ur.) Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Klepac, D., 2003b: Uređivanje bukovih prebornih šuma. U: (Matić, S., Ur.) Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Kohen, A.E.L., L. VEnet, M. Mousseau, 1993. Growth and photosynthesis of two deciduous forest species at elevated carbon dioxide, *Funct. Ecol.* 7, p.480–486.
- Lloyd, J., G.D. Farquhar, 1996. The CO<sub>2</sub> dependence of photosynthesis, plant growth responses to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations and their interaction with soil nutrient status. I. General Principles and Forest Ecosystems., *Funct. Ecol.* 10, p.4–32.
- Larsen J. Bo (2007): The influence of light, lime, and NPK-fertilizer on photosynthesis, respiration, transpiration and water use efficiency of different beech provenances (*Fagus sylvatica* L.). U: Improvement and Silviculture of Beech Proceedings from the 7<sup>th</sup> International Beech Symposium, IUFRO Research Group 1.10.00, 10–20 May 2004, Tehran, Iran
- Huss, J., A. Stephani, (1978): Lassen sich ankommende Buchennaturverjüngungen durch frühzeitige Auflichtung, durch Düngung oder Unkrautbekämpfung rascher aus der Gefahrenzone bringen. *Allg. Forst- u. Jagdzt.*, 149: 133–145
- Suner, A., E. Röhrig, (1980): Die Entwicklung der Buchennaturverjüngung in Abhängigkeit von der Auflichtung des Altbestandes. *Forstarchiv* 51, 145–149.
- Von Lüpke, B. (1987): Einflüsse von Altholzüberschirmung und Bodenvegetation auf das Wachstum junger Buchen und Traubeneichen. *Forstarchiv*, 58: 18–24.
- Marović, M. V. Golubović-Čurguz, J. Popović, N. Veselinović, (1989): Uticaj preventivne zaštite i prihranjivanja na razvoj sejanaca lišćarskih vrsta u kontejnerskoj proizvodnji. Institut za šumarstvo i drvnu industriju. Zbornik radova 32–33, str. 133–140.
- Marschner, H. (2002): Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 2<sup>nd</sup> edition.
- Matić, S., 2003: Proslov. U: (Matić, S., Ur.) Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 2003a: Osnivanje šuma obične bukve. U: (Matić, S., Ur.) Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 2003b: Uzgojni postupci u bukovim šumama. U: (Matić, S., Ur.) Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Pernar, N., D. Bakšić, 2003: Tla bukovih šuma. U: (Matić, S., Ur.) Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Rastovski, P., K. Bezak, 1994: Istraživanje stanja prehrane i rasta obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) panonskog područja Hrvatske. *Rad. Šum. Inst.* 29 (2) 259–277.
- Poorter, H., 1998: Do slow-growing species and nutrient-stressed plants respond relatively strongly to elevated CO<sub>2</sub>? *Global Change Biol.*, 4., 693–697.
- Šijačić-Nikolić, M., D. Vilotić, G. Radošević, (2006): Uticaj kontrolisano razlagajućeg đubriva na morfo-anatomske karakteristike jednogodišnjih sadnica bukve.
- Seletković, Z., I. Tikvić, B. Prpić, 2003: Ekološka konstitucija obične bukve. U: (Matić, S., Ur.) Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Seletković, I., N. Potočić, D. Ugarković, A. Jazbec, R. Pernar, A. Seletković, (2008). The influence of climate and relief properties on crown condition status of Common beech - a case study of Medvednica massif, Croatia. In: Schaub, M., Kaennel Dobbertin, M., Steiner, D. (Eds.) Air Pollution and Climate Change at contrasting Altitude and Latitude. 23<sup>rd</sup> IUFRO Conference for Specialists in Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems.

Murten, Switzerland, 7-12 Sept 2008. Abstracts. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL. 162 pp.

Stilino vić, S. (1987): Proizvodnja sadnog materijala šumskog i ukrasnog drveća i žbunja, Univerzitet u Beogradu, 454 str.

StatSoft, Inc. (2006). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com.

*SUMMARY: The large-scale dieback of Silver fir (Abies alba Mill.), present in Croatia in the past two decades, has led to atypical growth conditions for young Common beech (Fagus sylvatica L.) trees on beech-fir sites. This is in contradiction with recent forestry practice and ecological requirements of beech (skiophytic, drought sensitive).*

*The aim of this study was to improve the fundamental understanding of the influence of light and nutrient availability in early stages of the development of beech seedlings. To determine the ecophysiological response of beech seedlings to full sunlight conditions, a nursery experiment was established with three fertilization treatments (2, 4 and 6g of Osmocote Exact per 1 liter of substrate) to simulate various soil fertility conditions (low, optimal and high availability of nutrients).*

*For every treatment, total biomass of seedlings (foliage, stem, roots) and the elemental concentrations of nitrogen, phosphorous, potassium, calcium and magnesium in the plant material determined by chemical analysis. Height and root-collar diameter have been measured and roots morphologically analyzed (WinRhizo software package). Light saturation curves (0, 50, 250, 600 in 1200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ) and A-Ci curves (0, 100, 400, 700 in 1000  $\mu\text{mol CO}_2/\text{l}$ ) have been measured (Li-Cor LI-6400) in a controlled environment.*

*Height, diameter and biomass of seedlings increased with fertilizer dose. Concentrations of N, P and K were growing with fertilizer dose, while Ca and Mg concentrations showed negative effects of overfertilization at the highest fertilizer dose. Root length, surface area and number of root tips were highest in the intermediate treatment while roots were least developed at the highest fertilizer dose.*

*In all cases assimilation rates of seedlings corresponded well with leaf mass ( $r^2 = 0,59$ ), leaf ( $r^2 = 0,44$ ) and root total nitrogen ( $r^2 = 0,58$ ) and total leaf phosphorus ( $r^2 = 0,45$ ).*

*Regardless of the conditions of full sunlight and an irregular water supply to seedlings while growing in the nursery, they showed a standard ecophysiological response to fertilization treatments, indicating that despite the changed site conditions in beech and fir stands, the seedlings may keep the capacity to adapt to the environment. The most successful development of seedlings can be expected on nutrient-rich sites.*

*Key words : Beech, fertilization, nutrient status, biomass, photosynthesis*