

UTJECAJ RAZLIČITIH SJETVENIH SUPSTRATA I VRSTA SPOROTOPIVIH GNOJIVA NA RAST I FIZIOLOŠKE PARAMETRE SADNICA OBIČNE BUKVE (*Fagus sylvatica* L.) U RASADNIKU I NAKON PRESADNJE

THE INFLUENCE OF VARIOUS GROWING SUBSTRATES AND SLOW-RELEASE FERTILIZERS ON THE GROWTH AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF COMMON BEECH (*Fagus sylvatica* L.) SEEDLINGS IN A NURSERY AND FOLLOWING PLANTING IN THE FIELD

Ivan SELETKOVIĆ¹, Nenad POTOČIĆ¹, Anamarija JAZBEC²,
Tomislav ČOSIĆ³, Tamara JAKOVLJEVIĆ¹

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati pokusa u kojemu se ispitivao utjecaj različitih supstrata (Litvanski treset, supstrat Humofin, supstrat Stender A400) i vrsta sporotopivih gnojiva (Osmocote Exact Standard 5-6 M i 12-14 M) na rast i fiziološke parametre sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u rasadniku i nakon presadnje na teren. Pokus je postavljen u rasadniku Šumarskog instituta, Jastrebarsko, kao randomizirani blok s osam tretiranja i četiri ponavljanja. Sadnicama je određena koncentracija dušika, fosfora, kalija, kalcija, magnezija i klorofila u lišću, izmjerena biomasa lišća, stabljike i korijena na kraju prve vegetacije te visine i promjeri vrata korijena. Biljke su zatim presađene na površinu namijenjenu obnovi sadnjom bukve. Nakon dvije godine biljkama su izmjerene visine i promjer vrata korijena. Gnojidba s Osmocote Exact gnojivima utjecala je pozitivno na koncentracije biogenih elemenata i pigmenta u lišću sadnica bukve te rast sadnica. Za uzgoj sadnica bukve kao najpovoljniji pokazao se Litvanski treset. U kontrolnoj varijanti najbolji je supstrat bio Stender, jer dolazi s već primiješanim mineralnim gnojivom. Razlike u dinamici rasta među biljkama tretiranim različitim gnojivima mogu biti značajne s obzirom na utjecaj korova nakon presadnje.

Cljučne riječi: obična bukva, Osmocote Exact Standard, visine i promjeri vrata korijena, biomasa, fotosintetski pigmenti, stanje ishrane

UVOD – Introduction

U današnjim otežanim uvjetima obnove šumskih sastojina proizvodnja sadnica od velikog je značaja. Iako se bukva još uvijek dobro prirodno pomlađuje, ipak svakim danom raste potreba za bukovim sadnicama, koja će biti još veća ako hrvatsko šumarstvo priđe nužnim konverzijama šumskih kultura i degradiranih šuma te intervencijama u prebornim bukovo-jelovim šumama, zbog povlačenja jele i stvaranja prostora za bukvu (Matić, Oršanić i Anić 2003). Harmonična ishrana osnovni je preduvjet proizvodnje sadnica šumskih vrsta drveća

(Rastovski i Komlenović 1993, Komlenović 1995). Istraživanja istih autora (1992, 1993, 1994, 1995, 1997) pokazala su kako se primjenom odgovarajućih mineralnih gnojiva može u značajnoj mjeri utjecati na kvalitetu sadnica. Gnojidba je jedna od najvažnijih uzgojnih mjera u pošumljavanju, posebice kod sadnica proizvedenih u kontejnerima, čiji ograničeni volumen značajno ograničava njihov rast (Oliet i dr. 2004, prema Landis, 1989). Gnojidba može ubrzati rast nadzemnog i podzemnog dijela biljaka, modificirati sadržaj

¹ Dr. sc. Ivan Seletković, Šumarski institut, Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

¹ Dr. sc. Nenad Potočić, Šumarski institut, Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

¹ Mr. sc. Tamara Jakovljević, Šumarski institut, Jastrebarsko, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

² Dr. sc. Anamarija Jazbec, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

³ Dr. sc. Tomislav Čosić, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

hraniva u tkivima i količinu dostupnih rezervi, poboljšati zakorjenjivanje i kapacitet za rast nakon presadnje, te povećati otpornost biljaka na vodni stres, niske temperature i bolesti (van den Driessche 1992).

Masovnija proizvodnja sadnica na posebnim supstratima u Hrvatskoj započela je 1965. godine (Dokuš 1969, Komlenović 1969, Dokuš i Komlenović 1979), a od 1981. godine intenzivnije se proizvode sadnice s obloženim korijenskim sustavom (Dokuš i dr 1988, Orešković 1986). Kontejnerska proizvodnja donosi niz prednosti: produženo vrijeme sadnje, kraća proizvodnja, veća kvaliteta i dr. (Matić i dr. 1996). Takva proizvodnja nemoguća je bez primjene odgovarajućih mineralnih gnojiva kojima se obogaćuje tresetni sjetveni supstrat. Gnojidba drvenastih biljaka uzgajanih u kontejnerima treba biti prilagođena korištenom supstratu (Šrámek i Dubský 2002). Osnovni problem kod primjene klasičnih mineralnih gnojiva je laka topivost, što može dovesti do pojave toksične koncentracije otopine supstrata. S druge strane, hraniva se slabo vežu na koloidni i adsorpcijski kompleks, pa se iz supstrata lako ispiru, što za posljedicu ima njihov čest nedostatak. Također, kod prihranjivanja dušik može na vlažnom lišću izazvati palež. Svi ti problemi rješivi su

uporabom gnojiva s produženim djelovanjem. Hraniva iz ovih gnojiva otpuštaju se iz granula postupno i na taj način tijekom čitave vegetacijske sezone ravnomjerno opskrbljuju biljke nizom makro- i mikrohraniva (Komlenović 1995). Osmocote je standardno sporotopivo gnojivo koje se koristi u rasadničkoj praksi. Primjena Osmocotea daje bolje rezultate nego prihrana brzotopivim i tekućim gnojivima te jednake ili bolje rezultate u odnosu na druge vrste sporotopivih gnojiva (Šrámek i Dubský 2002). Duže trajanje otpuštanja hraniva (12–14 umjesto 5–6 mjeseci, op.a.) treba osigurati pristupačnost hraniva za vrijeme cijelog proizvodnog ciklusa, kao i mogućnost da se hraniva nastave otpuštati po presadnji (Reddell i dr. 1999). Prema tomu, gnojiva s produženim djelovanjem mogu nam pružiti financijski pristupačan i jednostavan način za osiguravanje hraniva šumskim sadnicama u niskotehnološkim rasadnicima, u isto vrijeme osiguravajući kontrolu pristupačnosti hraniva (Donald 1991).

U ovom radu prikazani su rezultati pokusa u kojemu se ispitivao utjecaj različitih supstrata i vrsta sporotopivih gnojiva (Osmocote Exact Standard 5-6 M i 12-14 M) na rast i fiziološke parametre sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u rasadniku i nakon presadnje na teren.

MATERIJALI I METODE – Materials and methods

Pokus je postavljen u rasadniku Šumarskog instituta, Jastrebarsko, kao randomizirani blok s osam tretiranja i četiri ponavljanja. Tretiranja su se razlikovala u primjeni različitih supstrata (treset iz Litve, supstrat Humofin, supstrat Stender A400) i vrsta gnojiva. Osmocote standard 5-6 M i 12-14 M su mineralna gnojiva s produženim djelovanjem, sastava 15 % N, 9 % P₂O₅,

9 % K₂O, 3 % MgO, 0.02 % B, 0.05 % Cu, 0.40 % Fe, 0.06 % Mn, 0.02 % Mo, 0.015% Zn i vremenskim trajanjem djelovanja gnojiva od 5–6, odnosno 12–14 mjeseci. Proizvođač, Scotts Professional, Heerlen, Nizozemska, www.scottspprofessional.com preporučuje koncentraciju od 4 g gnojiva po litri supstrata kao optimalnu. Karakteristike supstrata dane su u Tablici 1.

Tablica 1. Kemijski sastav korištenih supstrata

Table 1 Chemical composition of used substrates

Vrsta supstrata Substrate type	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	E.C., mS/cm	N ukupni, % N total, %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	Organska tvar, % Organic matter, %
Litva	4,00	3,72	0,281	0,64	0,16	0,28	95,4
Humofin	6,98	6,50	0,439	2,57	0,18	0,20	82,0
Stender A400	6,39	5,90	0,850	1,45	0,56	0,87	88,0

Tretiranja su bila sljedeća:

L0 – Litvanski treset

L1 – Litvanski treset + 4g/l Osmocote Exact Standard 5-6 M

L2 – Litvanski treset + 4g/l Osmocote Exact Standard 12-14 M

B0 – Humofin

B1 – Humofin + 4g/l Osmocote Exact Standard 5-6 M

B2 – Humofin + 4g/l Osmocote Exact Standard 12-14 M

F0 – Stender A400

F1 – Stender A400 + 4g/l Osmocote Exact Standard 12-14M

Sadnice bukve uzgajane su iz sjemena u Bosnaplast 18 kontejnerima. Sadnice su bile uzgajane pod zasjenom i redovitim režimom zalijevanja.

Listovi biljaka za kemijske analize uzorkovani su tako da je krajem ljeta uzet po jedan list prosječne veličine sa svake biljke u tretiranju i ponavljanju. Uzorci su sušeni na 105 °C do konstantne mase te izvagani na vagi točnosti 0,01 gram, a masa izračunata na bazi 100 listova. 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 (H₂SO₄) uz dodatak katalizatora, perklorne kiseline (HClO₄). 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.

Normalno razvijeno lišće sa po pet biljaka prosječne veličine (1 list po biljci) uzorkovano je za određivanje sadržaja pigmentata. Za pripremu jednog uzorka lišće je isjeckano škarama na male komadiće, a uzorak je homogeniziran miješanjem te je za daljnju pripremu uzeta odvaga od 0,3 g. Nasumično odabran dio tako pripremljenih listova (oko 0,3 g) predstavljao je jedan uzorak. Nakon toga biljni materijal, koji je činio jedan uzorak, izvagan je na analitičkoj vagi te mu je zabilježena masa. Uzorak je kvantitativno prebačen u porculanski tarionik i homogeniziran uz dodatak ledeno hladnog apsolutnog acetona. Homogenat je kvantitativno prenesen u kivetu i centrifugiran na 1000 okretaja u trajanju od 10 minuta. Supernatant je dekantiran u menzuru, a kruti ostatak još jednom ekstrahiran s apsolutnim acetonom. Nakon centrifugiranja i spajanja supernatana izmjeren je volumen ekstrakta. Kvantitativna determinacija fotosintetskih pigmentata izvršena je spektrofotometrijski, očitavanjem apsorbancije (A) na 661,6 i 644,8 nm. Mjerenja su obavljena na UV/VIS spektrofotometru PF Lambda 1A.

Za izračunavanje koncentracije fotosintetskih pigmentata korištene su sljedeće formule (Lichtenthaler 1987):

$$\text{Chl } a+b = (7.05A_{661.6} + 18.09A_{644.8})V/m \cdot 10^3$$

gdje su

Chl $a+b$ = koncentracija ukupnog klorofila u mg/g svježe tvari uzorka

V = ukupni volumen ekstrakta fotosintetskih pigmentata u ml

m = masa uzorka u gramima.

Visine i promjeri vrata korijena izmjereni su krajem vegetacije i izračunate srednje vrijednosti za svako tretiranje/ponavljanje. Po pet sadnica u svakom ponavljanju x tretiranju najbliže tim srednjim vrijednostima po visini, a zatim po promjeru, uzorkovane su radi određivanja biomase lišća, stabljike i korijena.

Biljke su po završetku prve vegetacije presađene na teren (UŠP Karlovac, Šumarija Jastrebarsko, GJ Plešivica 24a) na površinu namijenjenu obnovi sadnjom bukve. Površina je prije sadnje očišćena od korova i izbojaka iz panja. Sadnice su posađene po tretiranjima i ponavljanjima na razmak 50 cm između biljaka i 1 m između redova. Nakon dvije godine biljkama su izmjerene visine i promjer vrata korijena.

Za sve analizirane varijable napravljena je deskriptivna statistika i za sva testiranja grešku tipa I (a) od 5 % smatrali smo statistički značajnom. Za sve analizirane parametre razlike između tretiranja testirali smo analizom varijance (ANOVA). Ukoliko su se razlike u tretiranjima za neke od analiziranih parametara u analiza varijanci pokazale statistički značajne Tukey-evim post hoc testom, ustanovili smo koja su to tretiranja koja se međusobno statistički značajno razlikuju (Sokal i Rohlf, 1995). Statističke analize i svi grafički prikazi napravljeni su koristeći statistički paket STATISTICA 7.1 (StatSoft, Inc., 2003).

REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM – Results and discussion

Tablica 2. Rezultati analize varijance za sve analizirane varijable

Table 2 Results of ANOVA for all analysed variables

Analizirane varijable <i>Variables</i>	Stupnjevi slobode <i>df</i>	F vrijednost <i>F value</i>	p <i>p</i>
N	7	3,555	0,0092
P	7	7,984	<0,0001
K	7	33,561	<0,0001
Ca	7	38,362	<0,0001
Mg	7	19,123	<0,0001
Chl+a+b	7	12,648	<0,0001
lišće 2004	7	32,6926	<0,0001
korijen 2004	7	6,4964	0,0002
visina 2004	7	40,211	<0,0001
visina 2006	7	46,194	<0,0001
promjer 2004	7	21,889	<0,0001
promjer 2006	7	27,867	<0,0001

Koncentracije biogenih elemenata u lišću

Concentrations of mineral nutrients in leaves

Osnovni zakoni biljne ishrane vrijede za sve biljke, a dobar i zdrav rast možemo postići samo ako su svi čim-

benici rasta dovoljno prisutni i nalaze se u pravilnom odnosu (Baule i Fricker, 1971). Stanje ishrane biljke odražava stupanj u kojemu je rezerva hraniva u tlu (supstratu) sposobna odgovoriti zahtjevima biljaka za ishranom u određenim uvjetima. Koncentracije elemenata i njihovi odnosi u lišću omogućuju nam uvid u stanje ishrane stabala u smislu njihovog nedostatka ili previsoke koncentracije, u apsolutnom iznosu ili u odnosu na koncentracije drugih elemenata (De Vries i dr. 2000).

Usvojena praksa interpretacije rezultata analiza biljnog materijala zasniva se na usporedbi koncentracija s graničnim vrijednostima (Raitio, 1993). Stoga rezultate analiza biljnog materijala dajemo u usporedbi s normalnim koncentracijama dušika, fosfora, kalija, kalcija i magnezija u lišću bukve prema Bergmannu 1992, (Tablica 3.).

Ako su prisutni i drugi čimbenici rasta, dušik odlučuje o veličini biljne proizvodnje, pa time i o prirastu drveta (Baule i Fricker 1971, Mengel i Kirkby 2001). Koncentracije dušika razlikuju se prema različitim tretiranjima, kako u pogledu supstrata, tako i u pogledu korištenog gnojiva (Slika 1.). Najveće vrijednosti

Tablica 3. Normalne koncentracije biogenih elemenata u potpuno razvijenom lišću obične bukve (Bergmann 1992).

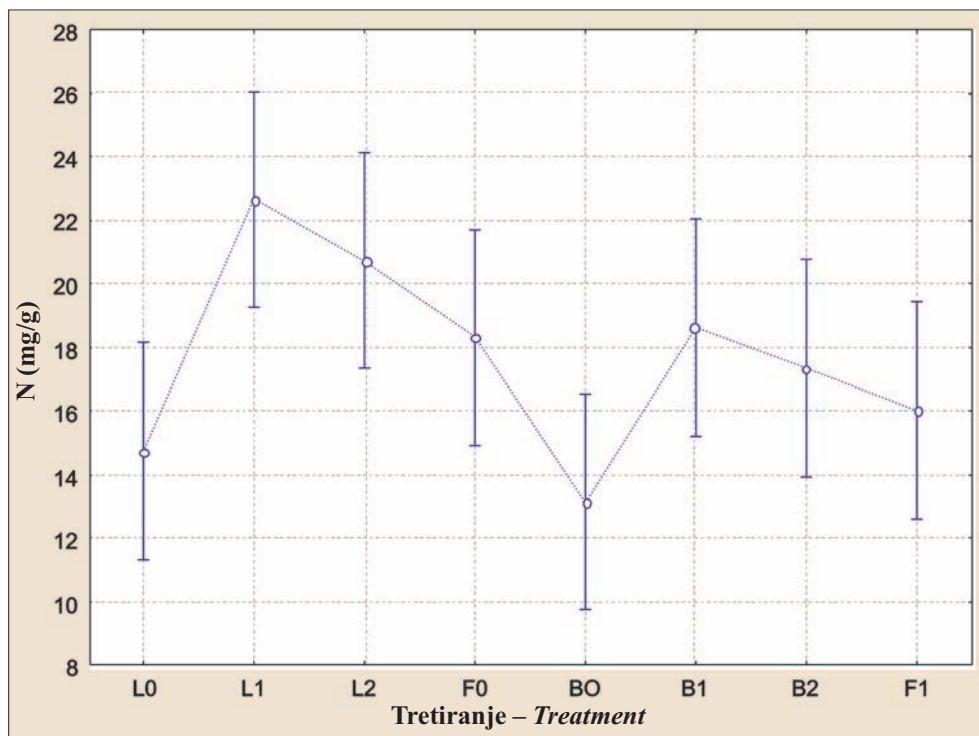
Table 3 Normal concentrations of mineral nutrients in fully developed leaves of common beech (Bergmann 1992).

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

zabilježene su u tretiranju L1 i L2 i samo te se vrijednosti nalaze u rasponu normalnih vrijednosti prema Bergmannu (1992, Tablica 3.) Najniže vrijednosti zabilježene su u tretiranjima bez dodanog gnojiva, bez obzira na korišteni supstrat (L0 i B0) i niže su od donje granice raspona normalnih vrijednosti.

Više biljke za potrebe svoga rasta pretvaraju velike količine dušika iz mineralnog u organski oblik (Men-

gel i Kirkby, 2001). Signifikantne razlike utvrđene su između tretiranja L0 i L1, a iako razlika između tretiranja B0 i B1 nije i statistički opravdana, treba imati na umu kako se ovdje radi o razlici nedostatne i normalne opskrbljenosti sadnica bukve dušikom. Između tretiranja L1 i L2, kao i B1 i B2, razlike nisu značajne. Ovdje treba izdvojiti rezultate dobivene u tretiranjima F0 i F1, gdje su veće koncentracije dušika (iako nedostatne) dobivene u F0, dakle tretiranju u kojemu nije dodavano gnojivo Osmocote (iako sam supstrat sadrži određenu količinu kompleksnog mineralnog gnojiva). Taj rezultat povezujemo s učinkom razrjeđenja zbog povećanog rasta biljne mase u F1, jer se preračunom iz koncentracija na sadržaj dušika u 100 listova (rezultati nisu prikazani) dobiva suprotna slika, to jest veće vrijednosti u F1. Kao što navodi Bergmann (1992) koncentracija dušika u lišću se mijenja sa starošću biljke i akumuliranom biomasom.



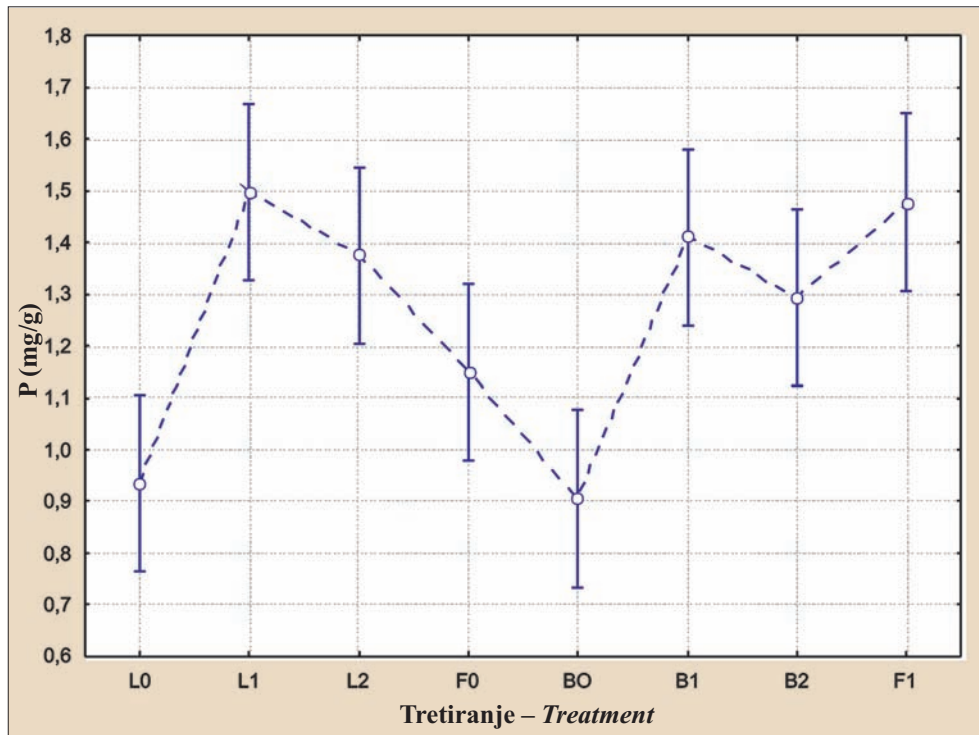
Slika 1. Koncentracije dušika (mg/g suhe tvari) u lišću sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

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

Nedostatak fosfora u biljaka relativno česta je pojava, a biljke koje pate od nedostatka fosfora zaostaju u rastu (Mengel i Kirkby 2001, Bergmann 1992). Normalne koncentracije fosfora u našem pokusu postignute su jedino u tretiranju L1 (i donekle u F1). Unatoč tomu postignut je zdrav izgled i dobar rast biljaka i u tretiranjima L2, B1, i B2, što sugerira kako tabelarne vrijednosti za fosfor (Van den Burg 1990, Bergmann 1992) nisu u potpunosti primjenjive u uvjetima

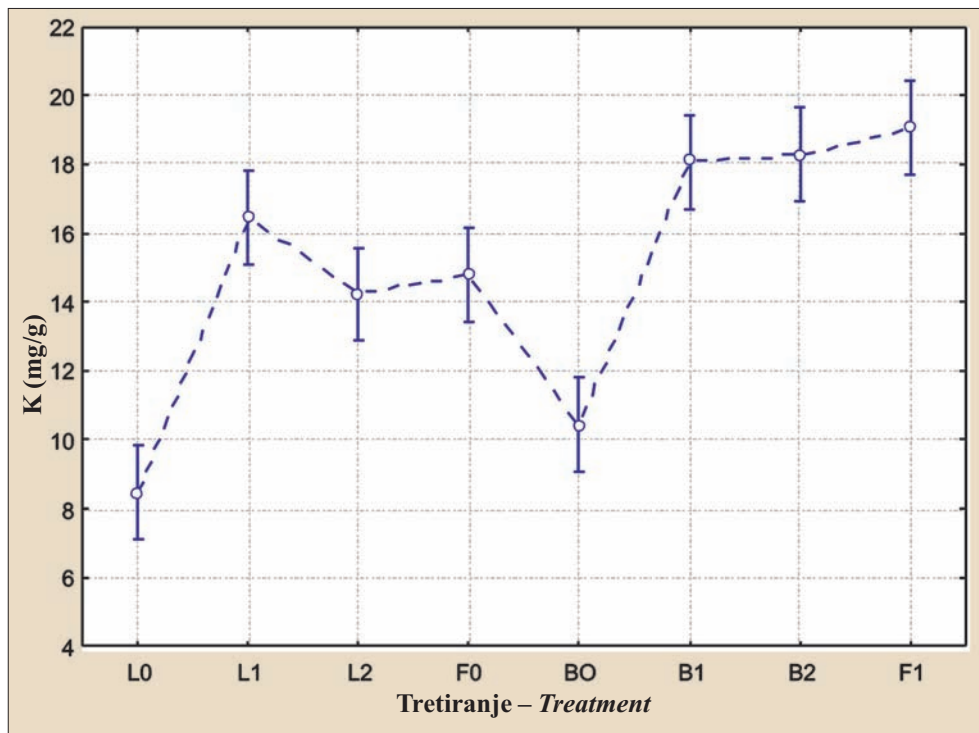
rasadničke proizvodnje. Kao i kod dušika, najniže vrijednosti dobivene su u tretiranjima bez dodanog Osmocote gnojiva, i one se statistički značajno razlikuju od svih tretiranja u kojima je dodavan Osmocote. Učinak razrjeđenja nije utvrđen za fosfor, pa se tako i vrijednosti P u tretiranjima F0 i F1 razlikuju prema očekivanjima (Slika 2.). Iz toga zaključujemo kako razlike u koncentracijama fosfora nisu bitno utjecale na rast biljaka. Ipak, s obzirom na općenito nizak sadržaj biljkama pri-

stupačnog fosfora u tlima, poželjno bi bilo u rasadničkoj šumljavanju koristiti gnojiva s većim udjelom fosfora kontejnerskoj proizvodnji sadnica namijenjenih za po- (Oliet i dr. 2004).



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

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

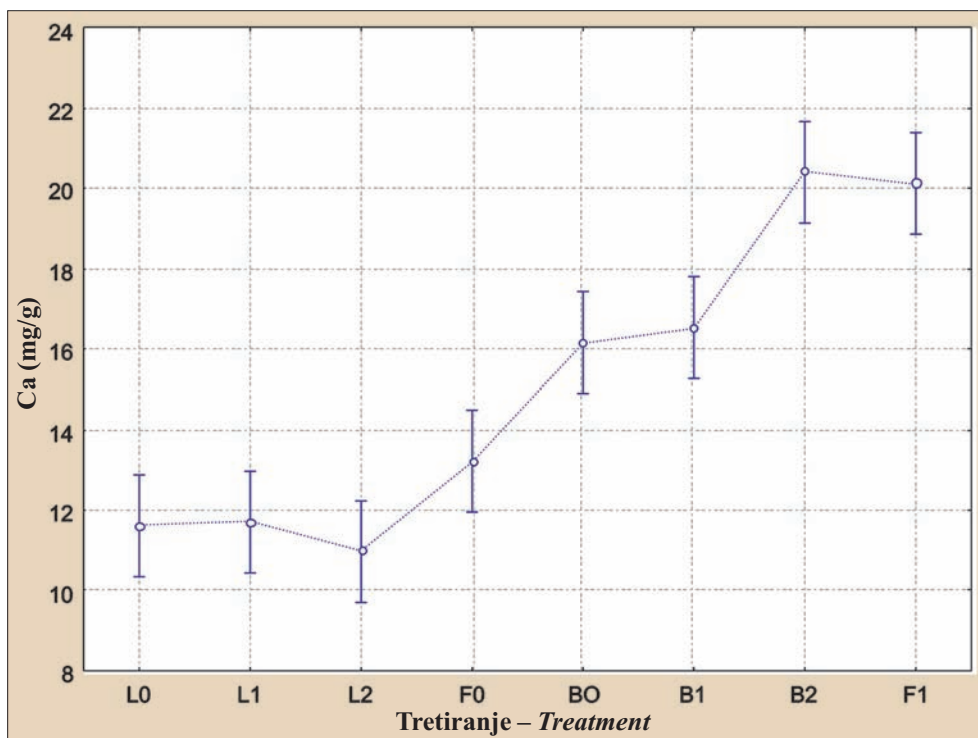


Slika 3. Koncentracije kalija (mg/g suhe tvari) u lišću sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

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

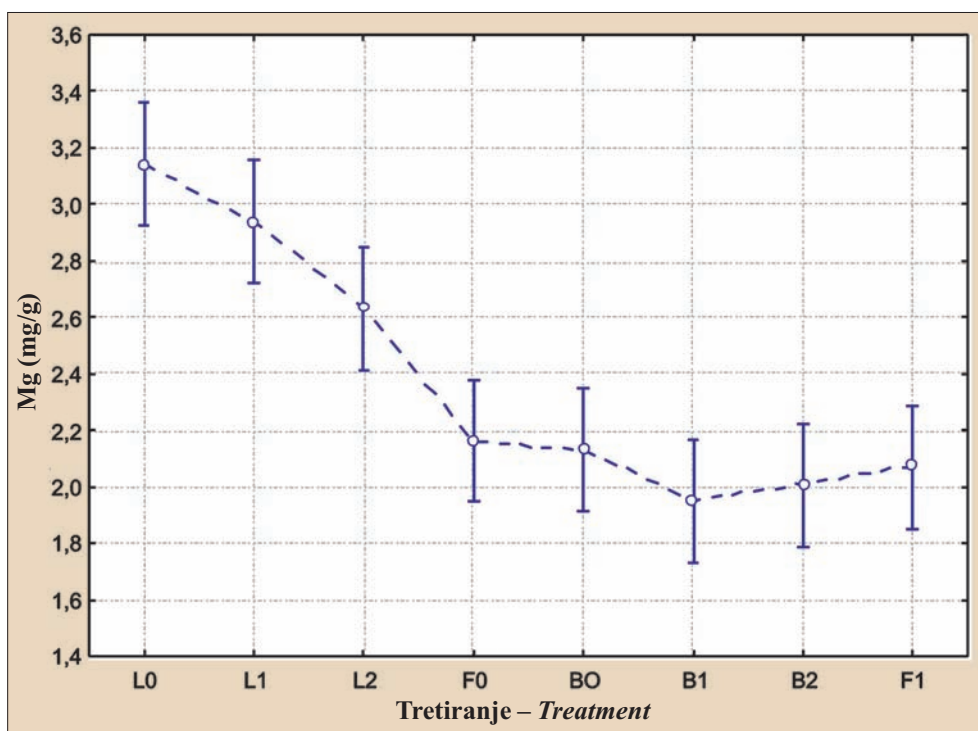
Kod kalija dobivene se vrijednosti većinom nalaze unutar raspona normalnih vrijednosti, osim tretiranja L0 i B0 koje su malo ispod, a B1, B2 i F1 malo iznad

tog raspona (Slika 3.). Veće su koncentracije utvrđene u sadnicama uzgajanim u supstratu Humofin supstratu Stender nego u Litvanskom tresetu. Utvrđena je stati-



Slika 4. Koncentracije kalcija (mg/g suhe tvari) u lišću sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 4 Calcium concentrations (mg/g DW) in beech leaves by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



Slika 5. Koncentracije magnezija (mg/g suhe tvari) u lišću sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 5 Magnesium concentrations (mg/g DW) in beech leaves by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals

stički značajna razlika između tretiranja F0 i L0, te F0 i B0, a nema značajne razlike između L0 i B0, što je posljedica znatno veće opskrbljenosti Stender supstrata kalijem zbog u proizvodnji dodanog kompleksnog gnojiva. Ove više koncentracije u našem slučaju ne predstavljaju problem u smislu eventualnih antagonizama s kalcijem ili magnezijem, jer Osmocote gnojiva sadrže magnezij, a kalcij je obilno prisutan u vodi za zalijevanje.

Statistički značajne razlike utvrđene su između kontrolnih i gnojidbenih tretiranja u svim supstratima (pozitivan utjecaj gnojidbe), dok između gnojiva Osmocote 5–6 M i 12–14 M nije utvrđena signifikantna razlika. Kod istih vrsta gnojiva, a različitih supstrata utvrđeno je sljedeće: L1 – B1 i B2 – F1 nema signifikantne razlike, L2 – F1 i L2 – B2 signifikantna razlika postoji.

Kao što je iz Slike 4. vidljivo, odziv koncentracija kalcija prema tretiranjima razlikuje se bitno od dušika, fosfora i kalija. Koncentracije Ca u biljnom materijalu povezane su s kemijskim karakteristikama korištenih supstrata (osobito pH), kao i sa činjenicom da je kalcij u značajnim količinama prisutan u vodi za zalijevanje u rasadniku Šumarskog instituta Jastrebarsko (Komlenović, 1997). Tako se čak i najniže utvrđene vrijednosti (biljke uzgajane u Litvanskom tresetu) nalaze u granicama normalnih vrijednosti. Velike i statistički značajne razlike u koncentracijama kalcija između tretiranja B1 i B2 povezane su s velikim razlikama u vinskom rastu, gdje su između tih tretiranja zabilježene

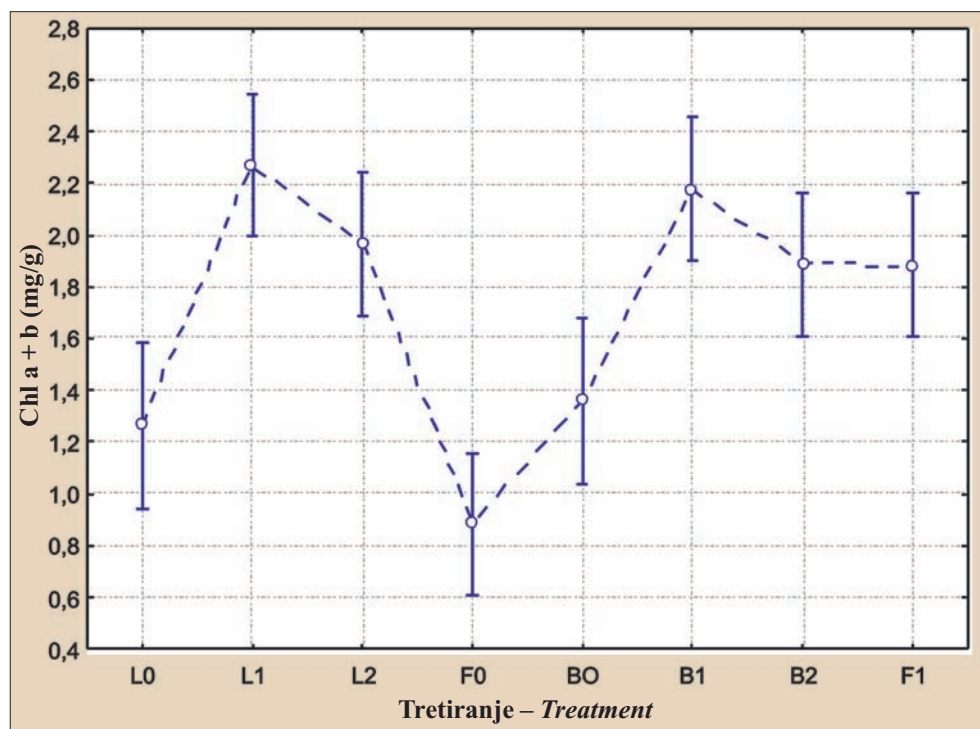
najveće razlike (Slika 10.). Usvajanje kalcija, uz dostupnost kalcija u otopini, određeno je i negativnim utjecajem ostalih kationa, ponajprije amonijevog iona (Bergmann 1992, prema Geraldson 1971). Otpuštanje hraniva iz sporotopivih gnojiva ponajprije se veže uz otpuštanje dušika (Broschat i Moore 2007), u našem slučaju u tretiranju B1 (Osmocote 5-6 mjeseci) dušik se otpuštao brže nego u tretiranju B2 (Osmocote 12–14 mjeseci), što se vidi kako po koncentracijama dušika u lišću (Slika 1.), tako i po povećanom rastu biljaka u tretiranju B1 (Slike 9. i 10.).

Magnezij ima svoju najpoznatiju ulogu u molekuli klorofila. Osim uloge u fotosintezi, magnezij aktivira ili sudjeluje u aktivaciji oko tri stotine enzimatskih reakcija, stabilizira membrane te regulira odnose kationa unutar i izvan stanice, a osobito je važna njegova uloga u procesima prijenosa energije u stanicama. Iz koncentracija magnezija i kalcija u lišću uočava se antagonističko djelovanje kalcija, posebice u supstratima višeg pH, međutim, utvrđene koncentracije magnezija nalaze se u okviru normalnih vrijednosti. Pojava smanjenog unosa magnezija u biljke zbog povećane koncentracije kalcijevih iona u otopini dobro je poznata (Bergmann 1992).

Koncentracija pigmenata

Pigment concentration

U tretiranju L1 utvrđene su ne samo najveće koncentracije ukupnog klorofila (Slika 6.) već i najveće kon-



Slika 6. Koncentracije ukupnog klorofila (mg/g svježe tvari) u lišću sadnica bukve po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 6 Concentrations of total chlorophyll (mg/g fresh weight) in beech leaves by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

centracije dušika i najveća biomasa biljaka. S obzirom da je dušik sastavni dio klorofilne molekule, biljke kojima je omogućena povoljna ishrana dušikom imaju dobar rast i izrazito zelenu boju lišća. Nasuprot tomu, biljke deficitarne dušikom klorotične su i slabo prirašćuju. Već spomenutu pojavu razrjeđenja dušika u lišću sadnica u tretiranju F1 potvrđuje i razlika u koncentraciji ukupnog klorofila (Chl *a+b*) između tretiranja F0 i F1. Gnojidba je statistički značajno utjecala na fotosintetski kapacitet biljaka, dok razlike gnojiva nisu utvrđene. U negnojnim varijantama (L0, B0, F0) srednje koncentracije ukupnog klorofila kretale su se od 0,88 mg/g svježe tvari za tretiranje F0 do 1,36 mg/g u tretiranju B0. Ove su vrijednosti usporedive s vrijednostima u kontrolnom tretiranju (0,95 mg/g) dobivenim u pokusu Kreuzwiesera, Furnissa i Rennemberga (2002).

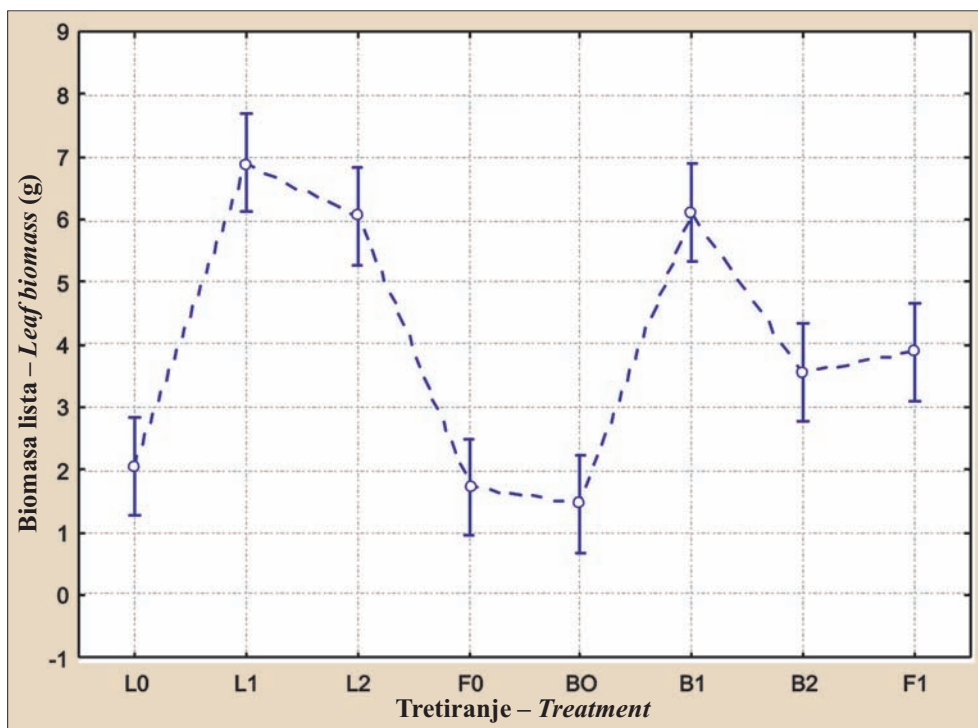
Biomasa

Biomass

Biomasa lišća i stabljike ponaša se vrlo slično u odnosu na tretiranja (Slika 7.). Primijevamo općenito

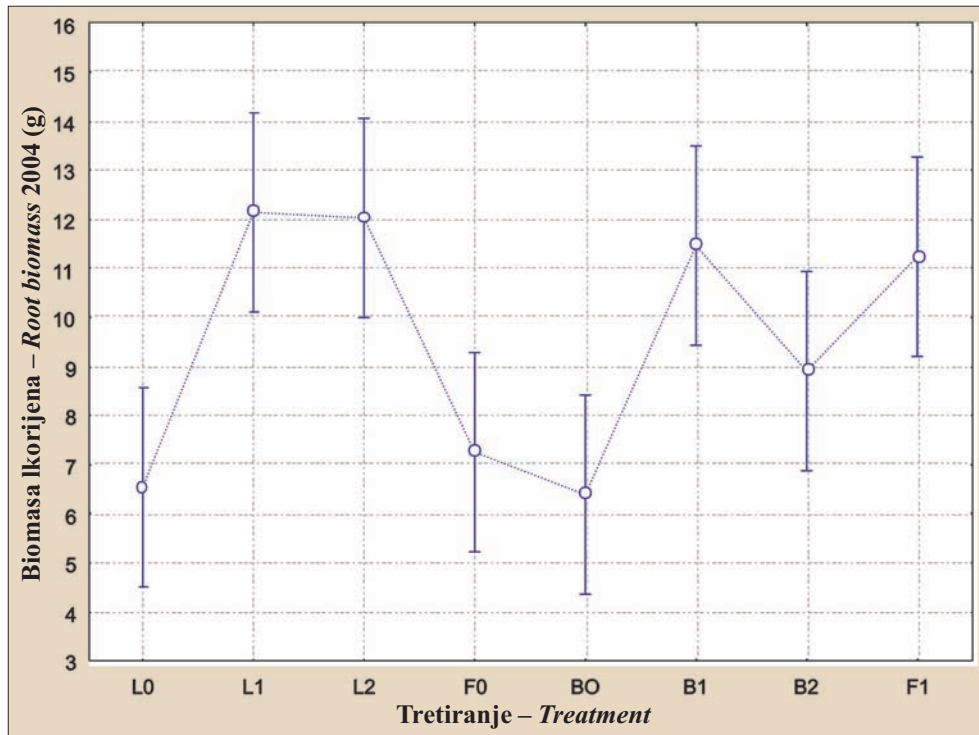
pozitivan utjecaj gnojidbe, osobito u tretiranju s Osmocote 5–6 M. Razlike u odnosu na kontrole su statistički značajne, dok su razlike između gnojiva utvrđene kod Humofin supstrata, a nisu kod Litvanskog treseta. Najveća biomasa postignuta je u tretiranju L1.

Za razliku od drugih dijelova biljaka, biomasa korijena za tretiranje F1 gotovo je jednaka tretiranjima L1 i B1, u kojima je inače zabilježena najveća biomasa korijenja i drugih biljnih dijelova. Iz ovoga, kao i iz koncentracija biogenih elemenata vidljivo je da biljke uzgajane u supstratu Stender A400 investiraju u razvoj pojedinih biljnih dijelova različito u odnosu na biljke uzgajane u druga dva korištena supstrata. U nastavku ćemo razmotriti ovo pitanje s aspekta ponašanja biljaka pri presadnji na teren.



Slika 7. Biomasa lišća bukve (g suhe tvari) po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 7 Biomass of beech leaves (g DW) by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



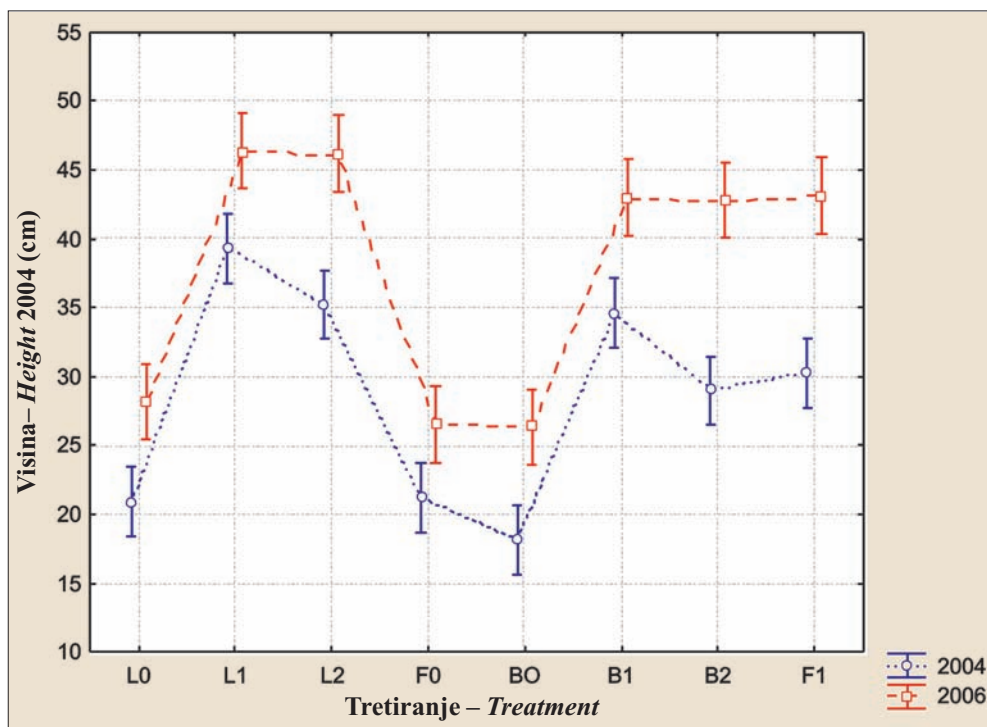
Slika 8. Biomasa korijenja bukve (g suhe tvari) po tretiranjima. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 8 Biomass of beech roots (g DW) by treatment. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

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

Visine i promjere vrata korijena sadnica potrebno je promatrati odvojeno za rasadnički i terenski dio poku-

sa, jer se različito ponašaju (Slike 9. i 10.). U rasadniku najbolji smo uspjeh postigli s obje varijante gnojidbe i Litvanskim tresetom, gdje je korištenje gnojiva Osmocote 5-6 M dalo najbolje rezultate. Nešto manje visine i



Slika 9. Visine sadnica bukve (cm) po tretiranjima i godini izmjere. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 9 Height of beech seedlings (cm) by treatment and year of measurement. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

promjeri postignuti su u tretiranju B1, te F1. Klasiranje sadnica bukve u našoj praksi provodi se samo prema kriteriju visine sadnica, gdje sadnice visine 20–30 cm pripadaju u prvu klasu, a visine 10–20 cm u drugu klasu. Prema toj klasifikaciji sadnice iz svih gnojidbenih tretiranja pripadaju prvoj klasi, a kontrolne varijante (L0, B0, F0) nalaze se ispod ili na prijelazu u drugu klasu kvalitete. Prema našim rezultatima klasiranje sadnica prema visini moralo bi biti detaljnije razrađeno, tako da u prvu klasu kvalitete pripadaju sadnice visine iznad 30 cm, u drugu visine 20–30 cm, a sadnice visoke manje od 20 cm ne bi se trebale koristiti za presadnju na teren. Sadnice bi trebale biti klasirane i prema promjeru vrata korijena. Dokazano je kako visina sadnica najbolje predviđa rast, a promjer vrata korijena preživljenje sadnica nakon presadnje (Walker i

Huntt, 1999, prema Mexal i Landis, 1990). Uz to, pri klasiranju trebalo bi uzeti u obzir i opskrbljenost sadnica biogenim elementima. U našem slučaju, u različite klase bismo svrstali sadnice iz tretiranja L1 i B1 (posebice prema koncentracijama dušika i fosfora u lišću) iako po visini sadnice iz oba tretiranja pripadaju prvoj klasi kvalitete.

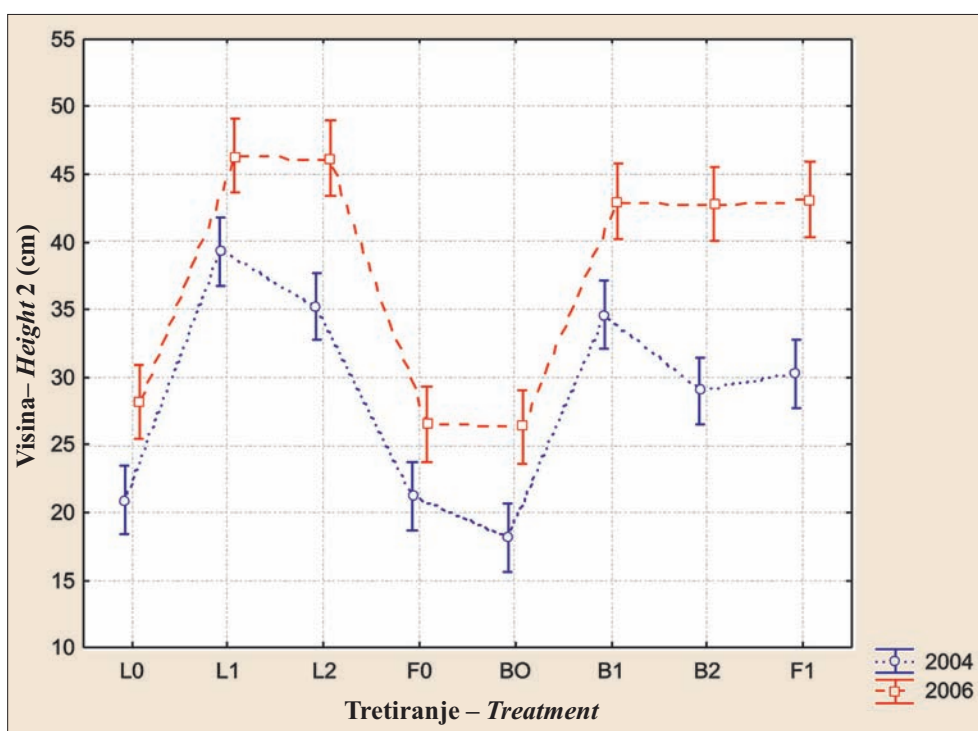
Statistički značajne razlike pokazale su se između kontrolnih i gnojidbenih tretiranja. Razlike između vrsta gnojiva nisu utvrđene. Što se tiče supstrata, razlike su utvrđene između tretiranja L2 i B2, to jest rast sadnica u supstratu Humofin znatno je manji.

Rast sadnica bukve u prvoj godini je od posebnog značaja za kasnije preživljenje i razvoj biljaka (Larsen 2007). U terenskom dijelu pokusa, nakon dvije

Tablica 4. Deskriptivna statistika za visine bukovih sadnica u 2004. i 2006. godini

Table 4. Descriptive statistics for height of beech seedlings in 2004 and 2006

Effect	Level of Factor	N	Descriptive Statistics (bukva-jaska.sta)									
			Visina 04 Mean	Visina 04 Std.Dev.	Visina 04 Std.Err	Visina 04 -95,00%	Visina 04 +95,00%	Visina 06 Mean	Visina 06 Std.Dev.	Visina 06 Std.Err	Visina 06 -95,00%	Visina 06 +95,00%
Total		32	28,56402	7,667797	1,355488	25,79948	31,32856	37,80292	8,930902	1,578775	34,58298	41,02285
Tretiranje	L0	4	20,93775	1,672024	0,836012	18,27719	23,59832	28,16645	3,606814	1,803407	22,42721	33,90570
Tretiranje	L1	4	39,28196	1,861702	0,930851	36,31958	42,24434	46,35384	1,466728	0,733364	44,01995	48,68773
Tretiranje	L2	4	35,22155	2,345332	1,172666	31,48960	38,95350	46,17052	1,229586	0,614793	44,21398	48,12707
Tretiranje	F0	4	21,17779	1,926123	0,963062	18,11290	24,24268	26,49014	2,276184	1,138092	22,86822	30,11205
Tretiranje	BO	4	18,13205	1,287644	0,643822	16,08312	20,18098	26,34057	2,028432	1,014216	23,11288	29,56826
Tretiranje	B1	4	34,58703	2,876791	1,438396	30,00942	39,16465	42,98074	3,587490	1,793745	37,27225	48,68924
Tretiranje	B2	4	28,97309	3,762030	1,881015	22,98686	34,95931	42,77916	3,812310	1,906155	36,71293	48,84540
Tretiranje	F1	4	30,20093	2,858928	1,429464	25,65174	34,75013	43,14189	1,890563	0,945282	40,13358	46,15020



Slika 10. Promjer vrata korijena sadnica bukve (cm) po tretiranjima i godini izmjere. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 10. Root collar diameter of beech seedlings (cm) by treatment and year of measurement. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

Tablica 5. Deskriptivna statistika za promjer vrata korijena bukovih sadnica u 2004. i 2006. godini
 Table 5 Descriptive statistics for root collar diameter of beech seedlings in 2004 and 2006

Effect	Descriptive Statistics (bukva-jaska.sta)											
	Level of Factor	N	Visina 04 Mean	Visina 04 Std.Dev.	Visina 04 Std.Err	Visina 04 -95,00%	Visina 04 +95,00%	Visina 06 Mean	Visina 06 Std.Dev.	Visina 06 Std.Err	Visina 06 -95,00%	Visina 06 +95,00%
Total		32	3,867770	0,866647	0,153203	3,555310	4,180229	5,654118	1,348210	0,238332	5,168036	6,140199
Tretiranje	L0	4	2,956552	0,321783	0,160891	2,444523	3,468580	4,173889	0,706212	0,353106	3,050148	5,297630
Tretiranje	L1	4	5,030935	0,288145	0,144073	4,572431	5,489438	6,960784	0,262232	0,131116	6,543514	7,378055
Tretiranje	L2	4	4,512183	0,347395	0,173698	3,959400	5,064966	6,860908	0,652700	0,326350	5,822317	7,899499
Tretiranje	F0	4	3,029604	0,167517	0,083758	2,763048	3,296161	4,124458	0,342648	0,171324	3,579228	4,669688
Tretiranje	BO	4	2,773457	0,195014	0,097507	2,463146	3,083768	3,889818	0,383207	0,191603	3,280051	4,499586
Tretiranje	B1	4	4,537918	0,424162	0,212081	3,862982	5,212854	6,554004	0,329420	0,164710	6,029824	7,078184
Tretiranje	B2	4	3,956068	0,493363	0,246681	3,171018	4,741118	6,318779	0,600586	0,300293	5,363112	7,274446
Tretiranje	F1	4	4,145442	0,504333	0,252166	3,342936	4,947949	6,350302	0,575089	0,287545	5,435206	7,265397

vegetacijske sezone, još uvijek su najviše i najvećeg promjera biljke uzgojene u Litvanskom tresetu (iako razlike među korištenim supstratima nisu statistički značajne), a razlike između gnojidbi gotovo su nestale. Isto tako izjednačila su se tretiranja B1, B2 i F1. Vrijedno je primijetiti kako su biljke gnojene s Osmocote 12–14 M bržim prirastom u terenskim uvjetima gotovo nadoknadile zaostatak za prvom varijantom gnojidbe. Različite gnojidbe sporotopivim gnojivima dovele su do istih prosječnih visina sadnica bukve nakon 4 godine po presadnji i u pokusu Juraseka, Bartoša i Narovcove (2008).

Slika 11. Prosječne sadnice obične bukve po tretiranjima na kraju prve vegetacijske sezone.

Figure 11 Average seedlings of Common beech at the end of the first vegetation season.



ZAKLJUČCI – Conclusions

Gnojidba s Osmocote Exact gnojivima utjecala je pozitivno na koncentracije biogenih elemenata i pigmenta u lišću sadnica bukve te rast sadnica. Smatramo kako u ispitivanje kvalitete sadnica treba, uz morfološke, uključiti i fiziološke parametre.

Svi rezultati pokazuju kako je za uzgoj sadnica bukve od istraživanih supstrata najpovoljniji Litvanski treset. U Humofin supstratu zabilježen je manji rast, kao i veća varijabilnost vrijednosti visina i promjera biljaka. U kontrolnoj varijanti supstrat Stender je najbolji, jer dolazi s već primiješanim mineralnim gnojivom.

Unatoč tomu što su biljke pokazale bolji rast u tretiranju s Osmocote 5–6 M u odnosu na tretiranje s

Osmocote 12–14 M u rasadničkim uvjetima (što je bilo i očekivano s obzirom da se hraniva brže otpuštaju u varijanti 5–6 M), očekivali smo da će gnojivo 12–14 M pokazati pozitivne učinke nakon presadnje na teren, što se i dogodilo. Međutim, biljke varijante 1 još uvijek su imale veće, iako ne značajno veće, visine i promjere vrata korijena. Ove razlike u dinamici rasta mogu biti značajne s obzirom na utjecaj korova na biljke nakon presadnje.

Zahvale: Zahvaljujemo Emilu Maradinu (17. siječnja 1942. – 11. kolovoza 2005) tehničaru Šumarskog instituta, Jastrebarsko, na stručnoj pomoći pri osnivanju, održavanju i mjerenju pokusa.

LITERATURA – References

- Baule, H., C. Fricker, 1971: Đubrenje šumskog drveća. Jugoslavenski poljoprivredno šumarski centar, Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu br. 78.
- Bergmann, W. (Ur.), 1992: Nutritional Disorders of Plants – Development, Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fischer Verlag Jena etc., 361 pp.
- Broschat, T. K., K. K. Moore, 2007: Release Rates of Ammonium-Nitrogen, Nitrate-Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Magnesium, Iron, and Manganese from Seven Controlled-Release Fertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38: 843–850.

- De Vries, W., G. J. Reinds, M. S. van Keer-
kvoorde, C. M. A. Hendriks, E. E. J. M.
Leeters, C. P. Gross, J. C. H. Voogd, E. M.
Vel, 2000: Intensive Monitoring of Forest Eco-
systems in Europe, FIMCI, EC-UN/ECE, Brus-
sels, Geneva.
- Dokuš, A., 1969: Uzgoj biljaka na iglicama obične
smreke. Radovi J. institut za četinjače br. 2, 5–16.
- Dokuš, A., J. Gračan, N. Komlenović, S. Or-
lić, 1988: Stanje rasadničke proizvodnje u SR Hr-
vatskoj. Studija, Šumarski institut, Jastrebarsko.
- Dokuš, A., N. Komlenović, 1979: Stanje rasadni-
čke proizvodnje u SR Hrvatskoj. Studija, Šumar-
ski institut, Jastrebarsko.
- Donald, D. G., 1991: Nursery fertilization of conifer
planting stock. U: (van den Driessche, R., ur.),
Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC
Press, str. 137–168.
- Komlenović, N., 1969: Neki rezultati primjene mi-
neralnih gnojiva kod uzgoja sadnica četinjača na
posebnim supstratima. Radovi J. institut za četi-
njače br. 2, 27–36.
- Komlenović, N., 1992: Fiziologija i prehrana šum-
skog drveća. U: Rauš, Đ. (ur.), Šume u Hrvatskoj:
121–130, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagre-
bu i “Hrvatske šume”, p.o. Zagreb, Zagreb.
- Komlenović, N., 1992: Primjena gnojiva s produ-
ljenim djelovanjem u proizvodnji sadnica pri-
morskih borova. Šum. list (1–2): 19–27, Zagreb.
- Komlenović, N., 1992: Primjena gnojiva s produže-
nim djelovanjem u proizvodnji šumskih sadnica.
Rad. Šumar. inst. 27 (2): 95–104, Jastrebarsko.
- Komlenović, N., 1994: Utjecaj gnojiva “Osmocote
Plus” na uspijevanje i kvalitetu biljaka crnog
bora (*Pinus nigra* Arn). Rad. Šumar. inst. 29 (1):
103–109, Jastrebarsko.
- Komlenović, N., 1995: Primjena kompleksnih gno-
jiva u uzgoju šumskih biljaka obloženog korije-
novog sustava. Rad. Šumar. inst. 30 (1): 1–10,
Jastrebarsko.
- Komlenović, N., 1997: Utjecaj gnojiva “Osmocote
Plus” na uspijevanje i kvalitetu sadnica poljskog
jasena (*Fraxinus angustifolia* Wahl). Rad.
Šumar. inst. 32 (1): 67–75, Jastrebarsko.
- Larsen J. Bo (2007): The influence of light, lime, and
NPK-fertilizer on photosynthesis, respiration,
transpiration and water use efficiency of diffe-
rent beech provenances (*Fagus sylvatica* L.). U:
Improvement and Silviculture of Beech Proceed-
ings from the 7th International Beech Symposi-
um, IUFRO Research Group 1.10.00, 10–20
May 2004, Tehran, Iran.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 2003: Osnivanje
šuma obične bukve. U: (Matić, S., Ur.) Obična
bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Akade-
mija šumarskih znanosti, Zagreb.
- Matić, S., N. Komlenović, S. Orlić, M. Orša-
nić, 1996: Rasadnička proizvodnja hrasta luž-
njaka. U: Klepac, D. (ur.), Hrast lužnjak u
Hrvatskoj: 159–166, Hrvatska akademija znanos-
ti i umjetnosti i “Hrvatske šume”, p.o. Zagreb,
Zagreb.
- Mengel, K. & E. A. Kirkby, 2001: Principles of
Plant Nutrition. International Potash Institute,
Bern.
- Oliet, J., R. Planelles, M. L. Segura, F. Ar-
tero, D. F. Jacobs, 2004: Mineral nutrition and
growth of containerized *Pinus halepensis* see-
dlings under controlled-release fertilizer. Scientia
Horticulturae 103: 113–129.
- Orešković, Ž., 1986: Rasadnička proizvodnja Insti-
tuta. U: Monografija, Šumarski institut, Jastre-
barsko 1945–1985.
- Raitio, H., 1993: Chemical needle analysis as a
diagnostic and monitoring method. U: Nilsson,
L.O., R.F. Huettl i U.T. Johansson (Ur.), Nutrient
Uptake and Cycling in Forest Ecosystems.:
197–202, Kluwer, Dordrecht.
- Rastovski, P., N. Komlenović, 1993: Proizvodnja
šumskih sadnica primjenom novih metoda i
uzgoja mineralnih gnojiva. Rad. Šumar. inst. 28
(1–2): 147–156, Jastrebarsko.
- Reddell, P., M. J. Webb, D. Poa, D. Aihuana,
1999: Incorporation of slow-release fertilizers
into nursery media. New For. 18; 277–287.
- Sokal R. R., F. J. Rohlf, 1995: Biometry, Freeman
and Company, New York.
- StatSoft, Inc., 2007: Electronic Statistics Textbook.
Tulsa, OK: StatSoft. WEB:
<http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.
- Šrámek, F. i M. Dubský, 2002: Influence of fertili-
zation application and growing substrate on con-
tainer-grown woody ornamentals. Rostlinná
výroba 48 (10) 448–457.
- Van den Burg, J., 1990: Foliar analysis for determi-
nation of tree nutrient status – a compilation of
literature data. Literature 1985–1989. “De Dor-
schkamp”, Institute for Forestry and Urban Eco-
logy. Wageningen.
- Van den Driessche, R., 1992: Changes in drought
resistance and root growth capacity of container
seedlings in response to nursery drought, nitro-
gen and potassium treatments. Can. J. For. Res.
22, 740–749.

Walker, R. F., C. D. Hunt, 1999: Growth and Nutrition of Containerized Singleleaf Pinyon Seedlings in Response to Controlled Release

Fertilization. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13 :123–132.

SUMMARY: In this paper the results of the experiment testing the influence of various growing substrates (Lithuanian peat, Humofin substrate, Stender A400 substrate) and slow-release fertilizers (Osmocote Exact Standard 5-6 M and 12-14 M) on the growth and physiological parameters of Common beech (Fagus sylvatica L.) seedlings in a nursery and in the field conditions following planting. The trial was set up in the nursery of the Forest Research Institute Jastrebarsko, as a randomized block with eight treatments and four repetitions. Concentrations of nitrogen, phosphorous, potassium, calcium, magnesium and chlorophyll were determined in the leaves of seedlings. Seedling heights, root collar diameters, and biomass of leaves, stems and roots were measured at the end of the first vegetation season. Seedlings were then moved to the nearby beech forest area where rejuvenation by planting of beech seedlings following the final cut was planned. After two years the heights and root collar diameters of planted seedlings were measured. Fertilization with Osmocote Exact had a positive influence on the concentrations of mineral nutrients and pigments in leaves, and growth of seedlings. Out of three tested substrates, Lithuanian peat was the most appropriate for growing beech seedlings. In control treatment, Stender substrate was the best since it comes with some mineral fertilizer already added. The differences in growth dynamics among seedlings treated with different fertilizers can be of great importance regarding the influence of weeds after planting.

Key words: Common beech, Osmocote Exact Standard, height and root collar diameter, biomass, photosynthetic pigments, nutrient status