

UTJECAJ RAZLIČITIH TIPOVA KONTEJNERA I DOZA SPOROTOPIVOG GNOJIVA NA RAST I FIZIOLOŠKE PARAMETRE SADNICA CRNOG BORA (*Pinus nigra* Arn.)

INFLUENCE OF VARIOUS CONTAINER TYPES AND SLOW-RELEASE FERTILIZER
DOSES ON GROWTH AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS
OF BLACK PINE (*Pinus nigra* Arn.) SEEDLINGS

Ivan SELETKOVIĆ¹, Nenad POTOČIĆ¹, Vlado TOPIĆ²,
Lukrecija BUTORAC², Goran JELIĆ², Anamarija JAZBEC³

SAŽETAK: U radu su prikazani rezultati pokusa u kojemu se ispitivao utjecaj različitih tipova kontejnera i doza sporotopivog gnojiva (*Osmocote Exact Standard 5–6 M*) na rast i fiziološke parametre sadnica crnog bora (*Pinus nigra* Arn.).

Pokus je postavljen u proljeće 2007. godine u rasadniku Omiš, Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, randomizirani blok u četiri ponavljanja. Tretmani su se razlikovali u primjeni različitih kontejnera (*HIKO V–150*, *HIKO V–265*, *QPD 12T/18*) i doza gnojiva (2, 4 i 6 g/l supstrata). Sadnicama je određena koncentracija dušika, fosfora, kalija, kalcija i magnezija u iglicama, izmjerene visine i promjeri vrata korijena, a korijenov sustav analiziran pomoću softverskog paketa *WinRhizo*.

Gnojidba s *Osmocote Exact* gnojivima utjecala je pozitivno na koncentracije dušika i fosfora, a negativno na koncentracije kalcija u iglicama. I doza i tip kontejnera utjecali su na rast u visinu i rast promjera vrata korijena. Kod razvoja podzemnog dijela osobito je izražen utjecaj tipa kontejnera. Od promatranih parametara korijenovog sustava, doza gnojiva je utjecala samo na duljinu i volumen korijena.

Ključne riječi: crni bor (*Pinus nigra* Arn.), kontejnerski uzgoj, *Osmocote Exact Standard 5–6M*, visine sadnica, promjer vrata korijena, stanje ishrane, *WinRhizo*

UVOD – Introduction

Crni bor (*Pinus nigra* Arn.) je jedna od najvažnijih vrsta za pošumljavanje suhih i kamenitih terena u području submediterana. Kulture crnog bora

osnivaju se sadnjom, posebno na erodiranim terenima, dok sjetvu kao metodu pošumljavanja koristimo na stjenovitim šumskim staništima ili napuštenim poljoprivrednim tlima. Sadnja daje brže i bolje rezultate pa ima prednost kod pošumljavanja (Vidaković 1993, Barčić *et al.* 2011).

Harmonična ishrana osnovni je preduvjet proizvodnje sadnica šumskih vrsta drveća (Rastovski i Komlenović 1993, Komlenović 1995). Istraživanja Komlenovića (1992 a,b,c, 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, osobito kod sadnica proizvede-

¹ Dr. sc. Ivan Seletković, Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko, ivans@sumins.hr

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

² Dr. sc. Vlado Topić, Institut za jadranske kulture i melioraciju krša, Put Duilova 11, 21000 Split

² Mr. sc. Lukrecija Butorac, Institut za jadranske kulture i melioraciju krša, Put Duilova 11, 21000 Split

² Goran Jelić, dipl. ing. šum., Institut za jadranske kulture i melioraciju krša, Put Duilova 11, 21000 Split

³ Dr. sc. Anamarija Jazbec, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

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

Uzgoj sadnica četinjača na posebnim supstratima nije novost (Komlenović 1969; Dokuš 1969; Rastovski 1979). Unatoč tomu, postoje nepoznanice kada se radi o različitim kombinacijama vrsta supstrata, tipova kontejnera i vrsta i doza gnojiva (Oliet i dr. 2004, Dominguez-Lerena i dr. 2006). Na primjer, malo se zna o mogućnosti reguliranja biljnohranidbenih svojstava tresetnih supstrata (Komlenović, Rastovski i Markoja 1980). Posebno se to odnosi na proizvodnju sadnica u priobalnom području.

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 presađnji (Reddell i dr. 1999). Prema tome, 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 tipova kontejnera i doza sporotopivog gnojiva (Osmocote Exact Standard 5–6 M) na rast i fiziološke parametre sadnica crnog bora.

MATERIJALI I METODE – *Materials and methods*

Pokus je postavljen u proljeće 2007. godine u rasadniku Omiš, Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, kao randomizirani blok u četiri ponavljanja. Tretmani su se razlikovali u primjeni različitih kontejnera (HIKO V–150, HIKO V–265, QPD 12T/18) i doza gnojiva (2, 4 i 6 g/l supstrata). Osmocote standard 5–6 M je mineralno gnojivo 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 dje-

lovanja gnojiva od 5–6 mjeseci. Proizvođač, Scotts Professional, Heerlen, Nizozemska, www.scottspromotional.com preporučuje koncentraciju od 4 g gnojiva po litri supstrata kao optimalnu. Karakteristike supstrata Humofin dane su u Tablici 1. Crni bor vrsta je adaptirana na različite tipove tala. Zahvaljujući izraženom adaptivnom mehanizmu tolerira širok raspon pH, a najbolje mu odgovaraju pH vrijednosti 6–8.

Tablica 1. Kemijski sastav supstrata

Table 1. Chemical composition of substrate

Supstrat <i>Substrate</i>	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	E.C., mS/cm	N ukupni, % <i>N total %</i>	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	Organska tvar, % <i>Organic matter, %</i>
Humofin	6,98	6,50	0,439	2,57	0,18	0,20	82,0

Iglice su za kemijske analize uzorkovane tako, da je u mjesecu studenom 2007. godine uzet prosječni uzorak 5 biljaka srednje visine po tretiranju i ponavljanju. Uzorci su sušeni na 105 °C do konstantne mase. 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.

Visine i promjeri vrata korijena izmjereni su u mjesecu listopadu 2007. godine 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 karakteristika korijenskog sustava. Korijen je ispran vodom, osušen celuloznom staničevinom i skeniran. Za analizu pomoću softverskog paketa WinRhizo (<http://www.regentinstruments.com/products/rhizo/Rhizo.html>) odabrani su sljedeći parametri: ukupna duljina korijena, prosječni promjer, broj vrhova, broj korjenčića, oplošje korijena i volumen.

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 dvofaktorskom analizom varijance (ANOVA). Efekt kontejnera i efekt doze testirali smo kao fiksne efekte kao i njihovu interakciju. 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

Koncentracije biogenih elemenata u iglicama –

Concentrations of mineral nutrients in needles

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 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 da-

jemo u usporedbi s koncentracijama dušika, fosfora, kalija, kalcija i magnezija u iglicama sadnica crnog bora u pokusima u lončićima (kontejnerima) koje daje Van den Burg (1990).

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). Više biljke za potrebe svoga rasta pretvaraju velike količine dušika iz mineralnog u organski oblik (Mengel i Kirkby, 2001).

Koncentracije dušika razlikuju se prema tipu kontejnera i dozi gnojiva, ali sve se vrijednosti nalaze u rasponu od adekvatne do optimalne opskrbljenosti dušikom (Van den Burg, 1990).

Najveće vrijednosti zabilježene su pri uporabi doze od 6 g gnojiva po litri supstrata, i te se vrijednosti značajno razlikuju od vrijednosti dušika dobivenih pri nižim razinama gnojidbe. Najniža vrijednost zabilježena je pri najmanjoj dozi

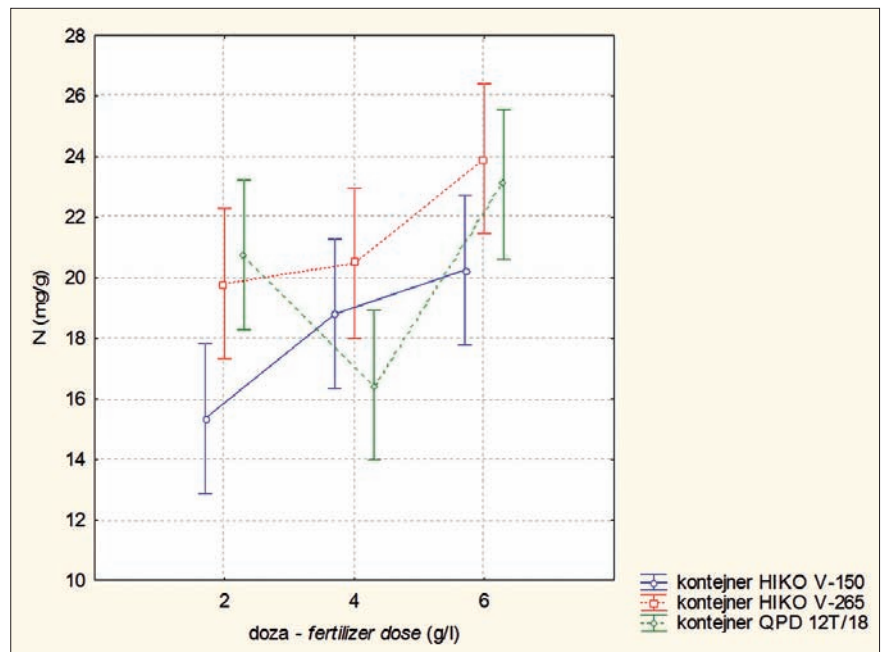
Tablica 2. Rezultati analize varijance i post-hoc testa za koncentracije biogenih elemenata u iglicama. Vrijednosti u zagradama nisu značajno različite.

Table 2. The results of variance analysis and post-hoc test for concentrations of mineral nutrients in needles. Values in brackets are not significantly different.

Dušik – Nitrogen	F	p	post hoc
kontejner – container	5,57	0,0094	(H2,Q)(H1,Q)
doza – dose	9,99	0,0006	(2,4)(6)
kontejner*doza - container*dose	2,75	0,0489	
Fosfor – Phosphorus	F	p	post hoc
kontejner – container	0,89	0,423	
doza – dose	5,81	0,008	(2,4)(6)
kontejner*doza - container*dose	1,34	0,2815	
Kalij – Potassium	F	p	post hoc
kontejner – container	0,03	0,9673	
doza – dose	3,05	0,0642	
kontejner*doza - container*dose	0,43	0,7856	
Kalcij – Calcium	F	p	post hoc
kontejner – container	2,53	0,0984	
doza – dose	5,72	0,0085	(2,4)(6)
kontejner*doza - container*dose	0,71	0,5934	
Magnezij – Magnesium	F	p	post hoc
kontejner – container	2,47	0,1031	
doza – dose	0,75	0,4809	
kontejner*doza - container*dose	2,11	0,1066	

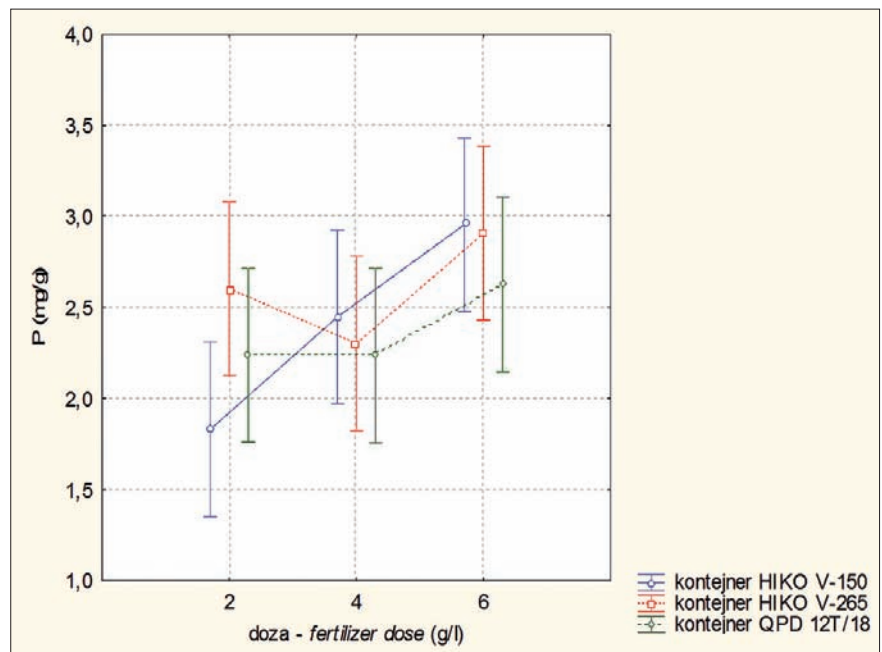
gnojiva u kontejneru najmanjeg volumena (HIKO V-150, Slika 1). U tom tipu kontejnera optimalna vrijednost dušika u iglicama postiže se tek pri najvećoj upotrijebljenoj dozi gnojiva. Kod kontejnera HIKO V-265 optimalne su vrijednosti postignute bez obzira na dozu gnojiva. Slično kao u pokusu Hathaway i Whitcomb (1984) te O li et i dr. (2004) u većini slučajeva koncentracije dušika rastu s dozom gnojiva. Kao što navodi Bergmann (1992) koncentracija dušika u lišću se mijenja sa starošću biljke i akumuliranom biomasom. Koncentracije dušika u kontejneru QPD 12T/18 pri dozi od 4 g/l gnojiva niže su od očekivanih, što se odrazilo i na visinski i debljinski rast sadnica. Dušik je utjecao na visinu sadnica (Slika 6) i duljinu, broj vrhova i oplošje korijena (Tablica 3) kod kontejnera HIKO V-150. Utjecaj dušika također je snažan kada se radi o visinskom i debljinskom rastu sadnica u kontejnerima HIKO V-265, međutim kod doze od 6 g/l dušik se koristi za izgradnju nadzemnog dijela biljke, a smanjen je razvoj korijena, što je vidljivo iz smanjenog volumena korijena, broja vrhova itd. (Tablica 3). Pri tome se koncentracije dušika kreću u rasponu od 20–27 mg/g, što je prema Van den Burgu (1990) raspon optimalnih vrijednosti.

Nedostatak fosfora u biljaka relativno je česta pojava, a biljke koje pate od nedostatka fosfora zaostaju u rastu (Mengel i Kirkby 2001, Bergmann 1992). Kod fosfora utvrdili smo značajnu razliku koncentracija unutar istog tipa kontejnera, gdje su dobivene razlike između doza gnojiva od 2 i 4 g/l u odnosu na 6 g/l (Tablica 2). Statistički značajne razlike između tipova kontejnera nisu utvrđene. Najveće koncentracije fosfora u iglicama utvrđene su kod tretiranja s najvišom dozom gnojiva. Zanimljivo je kako se u volumenu najmanjem kontejneru HIKO V-150 koncentracija fosfora pod utjecajem gnojidbe kretala od najniže do najviše utvrđene vrijednosti za cijeli pokus, dok kod ostalih tipova kontejnera utjecaj gnojidbe nije toliko izražen.



Slika 1. Koncentracije dušika (mg/g suhe tvari) u iglicama crnog bora prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 1 Nitrogen concentrations (mg/g DW) in black pine needles by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



Slika 2. Koncentracije fosfora (mg/g suhe tvari) u iglicama crnog bora prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

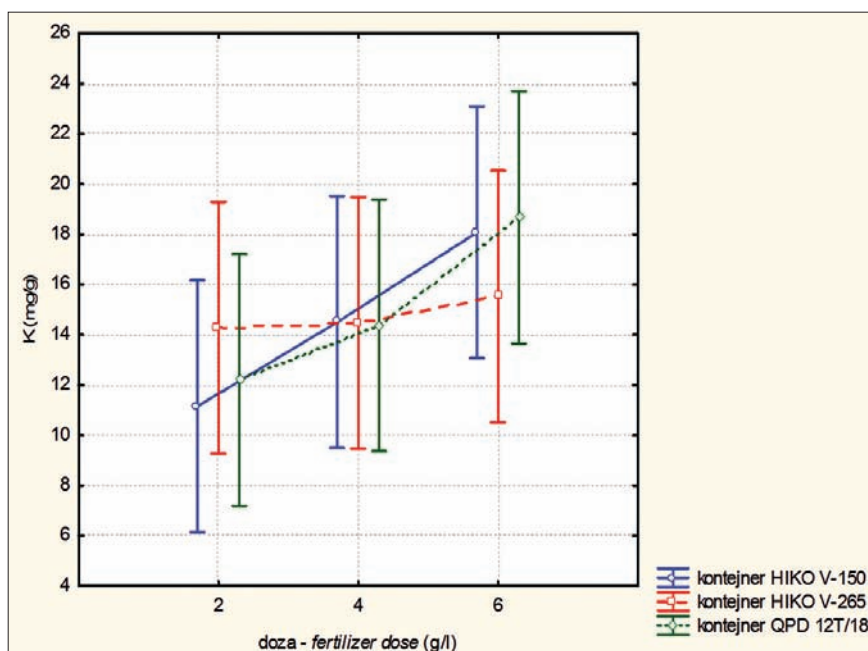
Figure 2 Phosphorus concentrations (mg/g DW) in black pine needles by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

Osim u tretiranju HIKO V-150 s 2 g/l Osmocote, gdje su utvrđene adekvatne vrijednosti fosfora (prema Van den Burg 1990), u svim ostalim tretiranjima vrijednosti su optimalne. Ipak, s obzirom na općenito nizak sadržaj biljkama pristupačnog fosfora u tlima, poželjno bi bilo u rasadničkoj kontejnerskoj proizvodnji sadnica namijenjenih za pošumljavanje koristiti gnojiva s većim

udjelom fosfora (Oliet i dr. 2004). Uz to, fosfor se akumulira u korijenu te služi kao rezerva hraniva za sljedeću vegetaciju, što znači da će biljke dobro opskrbljene fosforom lakše preživjeti šok presadnje. Puertolas, Gil i Pardos (2003) utvrdili su kako je koncentracija dušika i fosfora u iglicama alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) značajno utjecala na rast sadnica u prvom vegetacijskom razdoblju nakon presadnje.

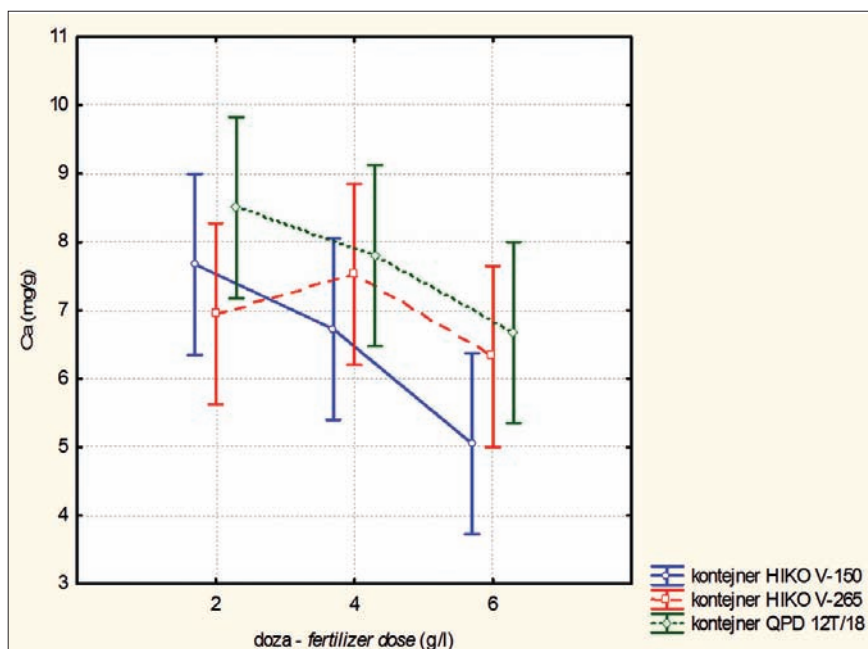
Kod kalija vidljiv je porast koncentracija u iglicama s povećanjem doze gnojiva u sva tri tipa kontejnera (Slika 3, usporedivo s Oliet i dr. 2004), iako značajne razlike nisu utvrđene. Sličan rezultat dobili su i Graca i Hamilton (1981) na sadnicama *Cotoneaster divaricata* Rehd. & Wils., gdje je primjena sporotopivog gnojiva značajno utjecala na povećanje koncentracija dušika i fosfora, ali ne i kalija u lišću. U našem istraživanju najviša vrijednost utvrđena je u kontejneru QPD, pri gnojidbi sa 6 g/l. Dobivene se vrijednosti nalaze unutar raspona optimalnih vrijednosti za sadnice (Van den Burg 1990). Ove više koncentracije u našem slučaju ne predstavljaju problem u smislu eventualnih antagonizama s magnezijem, jer Osmocote gnojiva sadrže magnezij. Antagonizam s kalcijem, iako očigledan, ipak nije izazvao deficijenciju kalcija (Slika 4).

Odziv koncentracija kalcija na gnojidbu (Slika 4) razlikuje se bitno od dušika, fosfora i kalija. Statistički značajne razlike utvrđene su između najveće i ostalih doza gnojiva, dok razlike između koncentracija kalcija u iglicama borova uzgojenih u različitim kontejnerima nisu utvrđene. Hathaway i Whitcomb (1984) u svom su istraživanju na japanskom crnom boru (*Pinus thunbergi* Parl.) dobili suprotan učinak povećanja koncentracija kalcija s dozom sporotopivog gnojiva, ali u njihovom slučaju u supstrat je bio dodan dolomit. Usvajanje kalcija, uz dostupnost kalcija u otopini, određeno je i negativnim utjecajem ostalih kationa, ponajprije amonijevog iona (Bergmann 1992, prema Geraldson 1971). U



Slika 3. Koncentracije kalija (mg/g suhe tvari) u iglicama crnog bora prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 3 Potassium concentrations (mg/g DW) in black pine needles by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



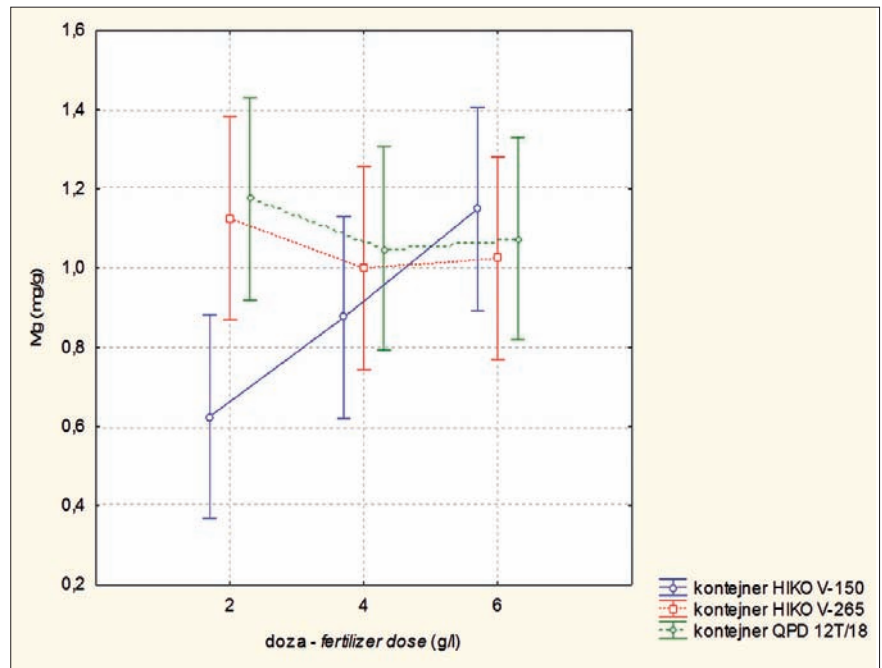
Slika 4. Koncentracije kalcija (mg/g suhe tvari) u iglicama crnog bora prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 4 Calcium concentrations (mg/g DW) in black pine needles by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals

našem slučaju, uz dušik, na koncentracije kalcija očito su antagonistički djelovali i kalij i magnezij, međutim do deficijencije kalcija nije došlo. Sve se dobivene vrijednosti nalaze u rasponu adekvatne opskrbljenosti – ipak, prema Van den Burgu (1990) optimalna opskrbljenost nije utvrđena niti u jednoj kombinaciji tretmana.

Gnojidba je imala najmanji negativan utjecaj u volumenom najvećim kontejnerima (QPD 12T/18), a najviše je negativno djelovala na koncentracije kalcija u najmanjim kontejnerima (HIKO V-150).

Statistički značajne razlike u koncentracijama magnezija u iglicama nisu utvrđene, kako za doze, tako niti za tipove kontejnera. Međutim, uočavamo da je kod kontejnera HIKO V-150 došlo do izrazitog porasta koncentracija Mg s povećanjem doze gnojiva (Slika 5), koje u ovom slučaju znači i razliku između nedostatne i adekvatne opskrbljenosti biljaka magnezijem. Suprotan učinak utvrdili su Walker i Hunt (2000) na *Pinus jeffreyi* Grev. & Balf, gdje su negnojene biljke imale veće koncentracije kalija, kalcija i magnezija u iglicama od gnojnih, bez obzira na tip i dozu sporotopivog gnojiva.



Slika 5. Koncentracije magnezija (mg/g suhe tvari) u iglicama crnog bora prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.
Figure 5 Magnesium concentrations (mg/g DW) in black pine needles by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals

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

Tablica 3. Rezultati analize varijance i post-hoc testa za visine biljaka i promjer vrata korijena. Vrijednosti u zagradama nisu značajno različite.

Table 3 The results of variance analysis and post-hoc test for height of plants and root collar diameter. Values in brackets are not significantly different.

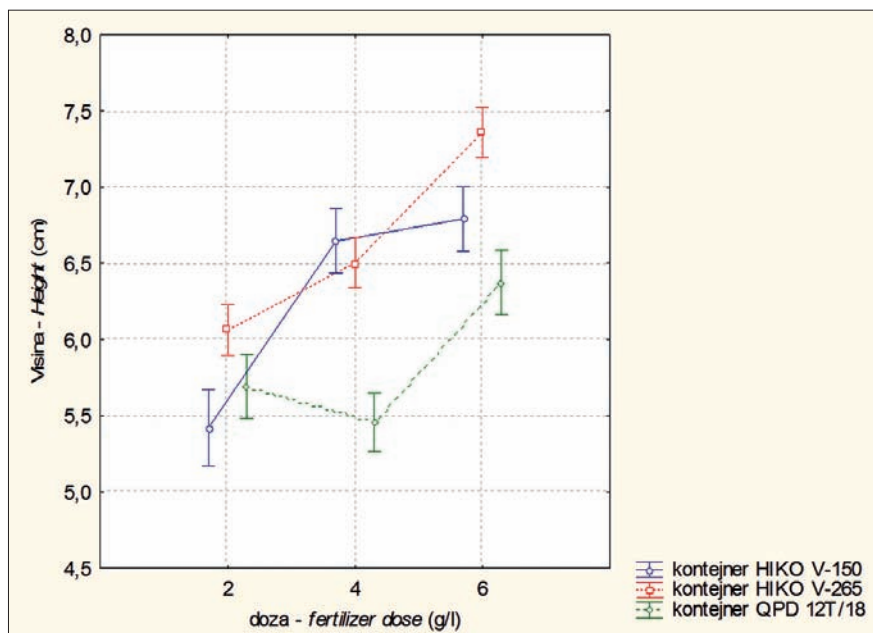
Promjer vrata korijena - root collar diameter	F	p	post hoc
kontejner – container	45,08	<0,001	(H1,Q)(H2)
doza – dose	43,68	<0,001	(2)(4)(6)
kontejner*doza - container *dose	30,25	<0,001	
Visina biljaka - Heights of plants	F	p	post hoc
kontejner – container	54,01	<0,001	(H1)(H2)(Q)
doza – dose	87,98	<0,001	(2)(4)(6)
kontejner*doza - container *dose	12,33	<0,001	

Rast sadnica u prvoj godini je od posebnog značaja za kasnije preživljenje i razvoj biljaka (Larsen 2007). Najveće visine biljaka postignute su kod doze gnojiva od 6 g/l, a po tipu kontejnera najpovoljniji se pokazao HIKO V-265 (Slika 6). Utvrđene su statistički značajne razlike u visinama biljaka između različitih doza gnojiva i tipa kontejnera.

Dokazano je kako visina sadnica najbolje predviđa rast, a promjer vrata korijena preživljenje sadnica nakon presađnje (Walker i Hunt, 1999, prema Mexal i Landis, 1990). Utvrdili smo statistički značajne razlike u promjerima u ovisnosti o dozi gnojiva,

za razliku od pokusa Jacobs, Haase i Rose (2005) koji nisu gnojidbom sadnica duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) sporotopivim gnojivom dobili statistički značajno povećanje promjera vrata korijena, već su razlike dobivene samo u odnosu na negnojene sadnice.

U našem istraživanju također se razlikuju promjeri vrata korijena biljaka uzgojenih u kontejneru HIKO V-265 u odnosu na ostala dva tipa kontejnera. Kod kontejnera HIKO V-150 pri najvećoj dozi gnojiva prevladava rast u visinu nauštrb rasta promjera.

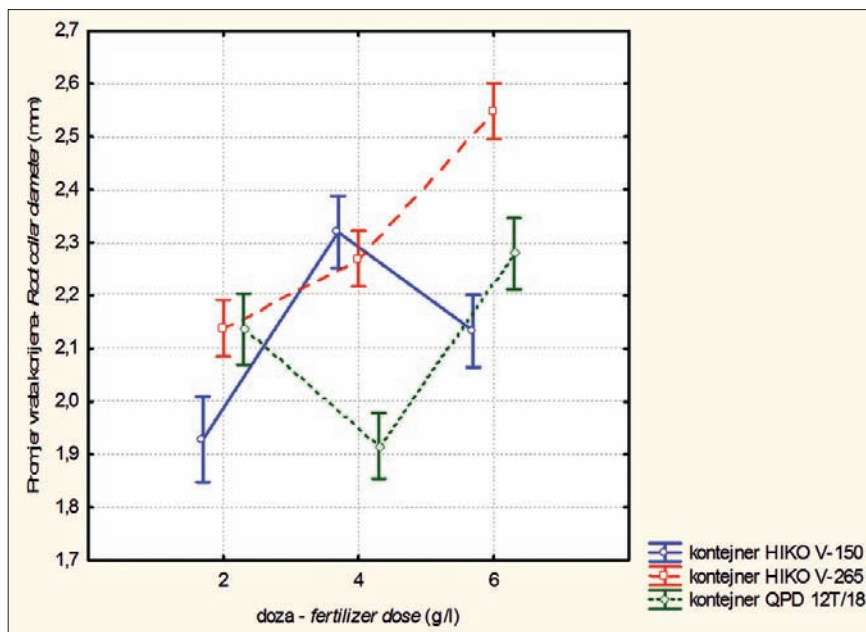


Slika 6. Visine sadnica crnog bora (cm) prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 6 Height of black pine seedlings (cm) by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals

Slika 7. Promjer vrata korijena sadnica crnog bora (mm) prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 7 Root collar diameter of black pine seedlings (mm) by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



Morfološka svojstva korijena – Root morphological properties

Dobro ishranjena biljka i kvalitetni korjenov sustav važne su varijable i dobra pretpostavka budućeg preživljavanja i rasta sadnica nakon presađivanja (Potočić i dr. 2009). Kod ocjene kvalitete sadnice veliku važnost ima razvijenost i kvaliteta korjenovog sustava.

Najveća ukupna duljina korijena postignuta je u najvećem kontejneru pri najmanjoj dozi gnojiva (Slika 8). Kod kontejnera HIKO V-150 s povećanjem doze gnojiva povećava se ukupna duljina korijena, što znači da u tom tipu kontejnera pri najmanjoj dozi gnojiva prostor za razvoj korijena nije limitirajući čimbenik, već je to količina hraniva za izgradnju korijena. Ipak

bez obzira na količinu gnojiva, u tom tipu kontejnera duljina korijena statistički je značajno manja od duljine u druga dva tipa kontejnera.

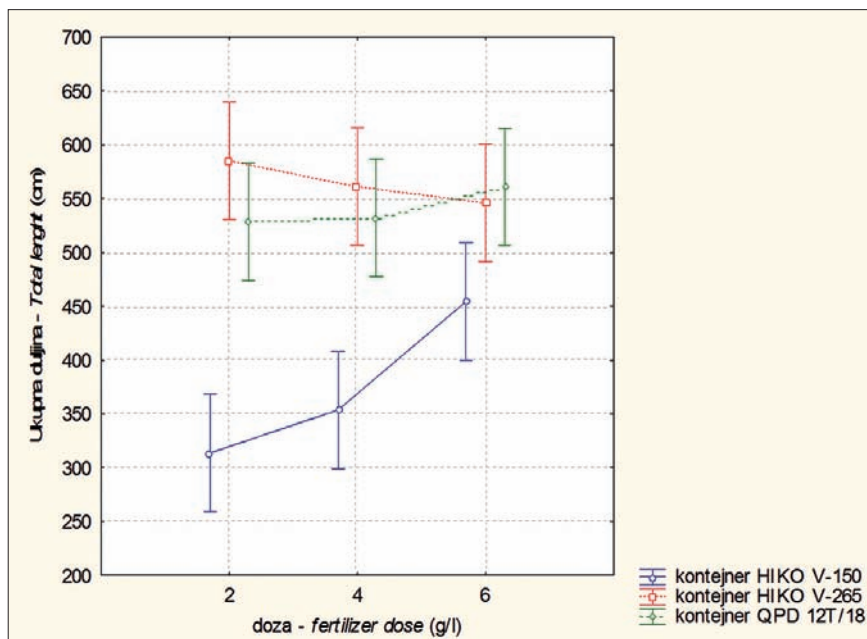
Statistički značajne razlike za promjer korijena utvrđene su između tipova kontejnera, gdje se kontejner HIKO V-150 razlikuje od ostalih tipova. Iz Slike 9 vidi se kako je prosječni promjer korijena u tom tipu kontejnera najviši, što je negativna karakteristika jer upućuje na razvoj skeletnog korijenja nauštrb sitnijeg, aktivnog korijenja.

Broj vrhova korijena raste s dozom gnojiva u kontejneru HIKO V-150, dok u kontejnerima HIKO V-265 i

Tablica 4. Rezultati analize varijance i post-hoc testa za morfološka svojstva korijena. Vrijednosti u zagradama nisu značajno različite.

Table 4. The results of variance analysis and post-hoc test for root morphological properties. Values in brackets are not significantly different.

Ukupna duljina - Total height	F	p	post hoc
kontejner – container	50,59	<0,0001	(H2,Q)(H1)
doza – dose	3,86	0,0229	(2,4)(4,6)
kontejner*doza - container*dose	2,27	0,0637	
Prosječni promjer - Mean diameter	F	p	post hoc
kontejner – container	10,72	<0,0001	(H2,Q)(H1)
doza – dose	0,89	0,4108	
kontejner*doza - container*dose	1,45	0,2197	
Broj vrhova - Number of tips	F	p	post hoc
kontejner – container	6,28	0,0023	(H1,Q)(H2,Q)
doza – dose	0,27	0,7648	
kontejner*doza - container*dose	2,5	0,0442	
Broj korjenčića - Number of fine roots	F	p	post hoc
kontejner – container	3,09	0,0484	(H1,Q)(H2,Q)
doza – dose	0,36	0,7006	
kontejner*doza - container*dose	3,01	0,02	
Oplošje - Surface area	F	p	post hoc
kontejner – container	16,5	<0,0001	(H2,Q)(H1)
doza – dose	2,22	0,1115	
kontejner*doza - container*dose	1,38	0,2436	
Ukupni volumen - Total volume	F	p	post hoc
kontejner – container	1,62	0,213	
doza – dose	0,61	0,5429	
kontejner*doza - container*dose	0,82	0,5165	



Slika 8. Ukupna duljina korijena sadnica crnog bora (cm) prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 8 Total length of root of black pine seedlings (cm) by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

QPD 12T/18 broj vrhova pada s povećanjem doze gnojiva. To se može objasniti na način da korijen prilagođava svoju veličinu prema dostupnosti hraniva u supstratu (Bagherzadeh i dr. 2008). Statistički značajne razlike utvrđene su između tipova kontejnera HIKO V-150 i HIKO V-265, dok razlike u broju vrhova pri različitim dozama gnojiva nisu utvrđene (Tablica 3).

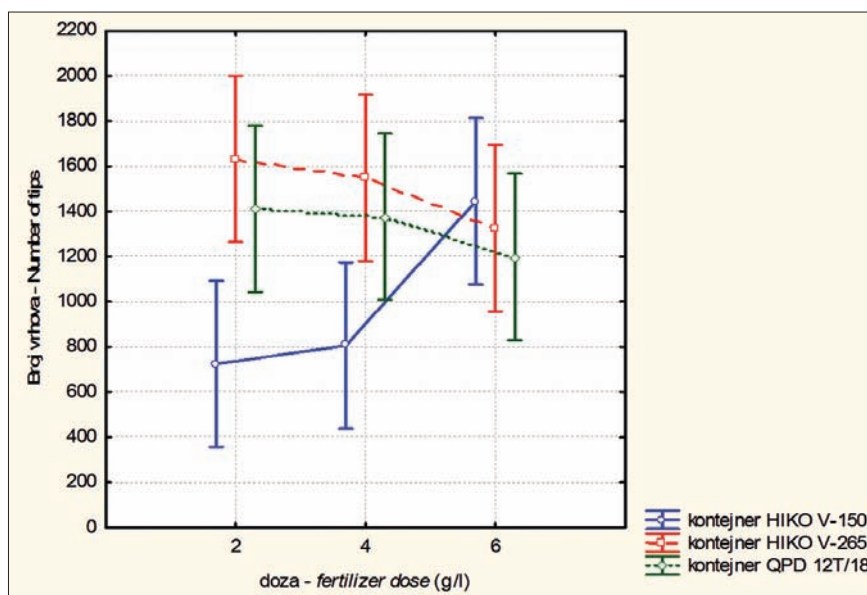
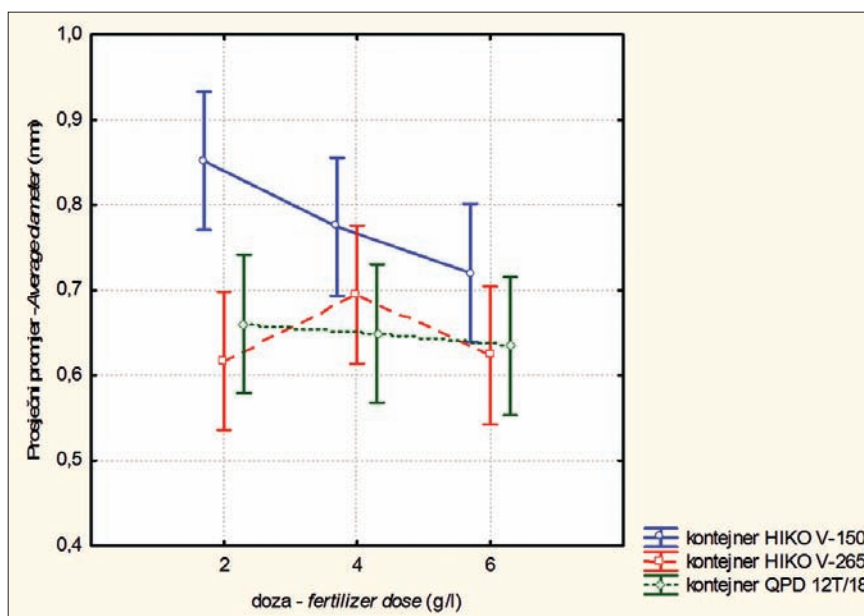
Broj sitnog korijenja ponaša se slično broju vrhova, to jest razlike su utvrđene između tipova kontejnera, dok između doza gnojiva nisu utvrđene.

Kod oplošja i volumena korijena utvrđene su značajne razlike između kontejnera HIKO V-150 i ostala dva tipa, gdje u kontejneru HIKO V-150 korijen ima najmanje oplošje i volumen (Tablica 4, Slika

12 i 13). Kod volumena korijena utvrđene su statistički značajne razlike i između doza gnojiva od 2 i 6 g/l. Za usporedbu, Jacobs, Haase i Rose (2005) nisu dobili statistički značajno povećanje volumena korijena sadnica duglazije s povećanjem doze sporotopivog gnojiva.

Slika 9. Prosječni promjer korijena sadnica crnog bora (mm) prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 9 Average diameter of root of black pine seedlings (mm) by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

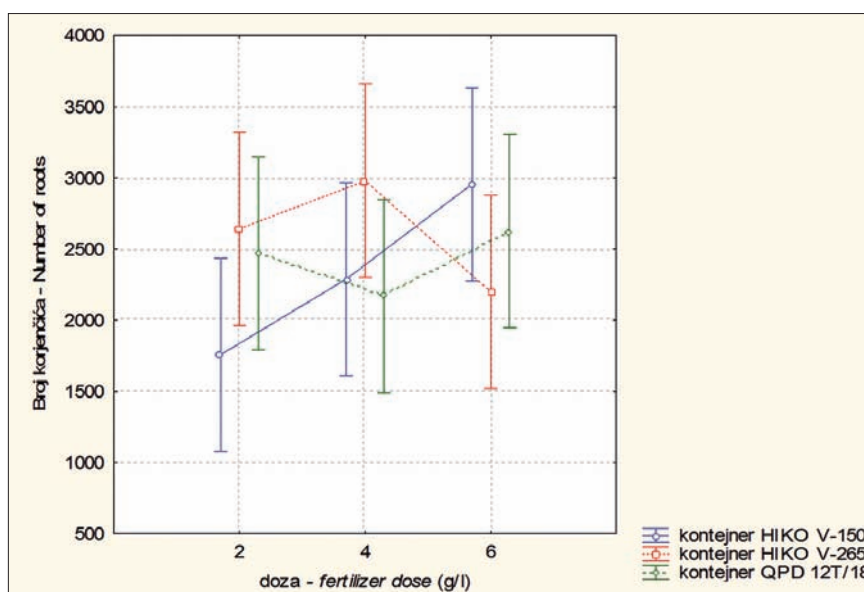


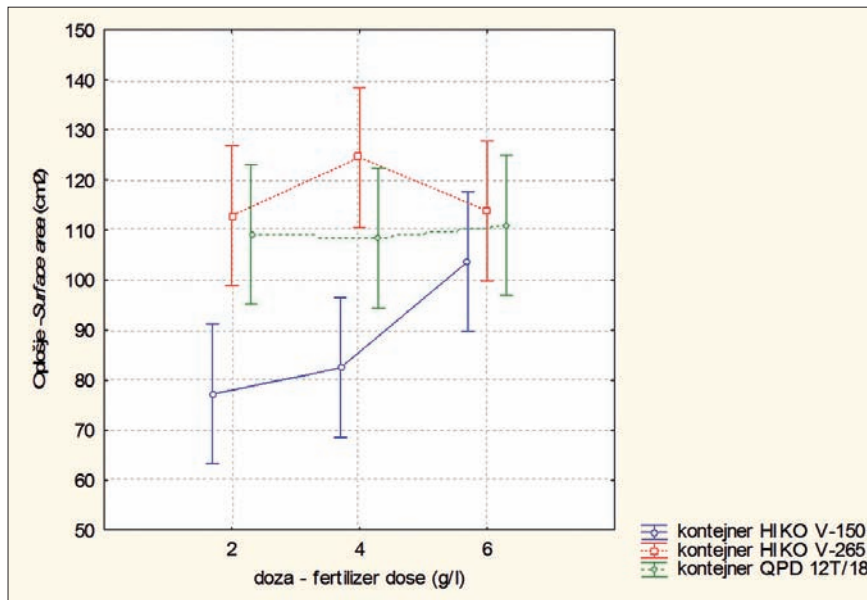
Slika 10. Broj vrhova korijena sadnica crnog bora prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 10 Number of tips of root of black pine seedlings by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

Slika 11. Broj sitnog korijenja sadnica crnog bora prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 11 Number of fine roots of black pine seedlings by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



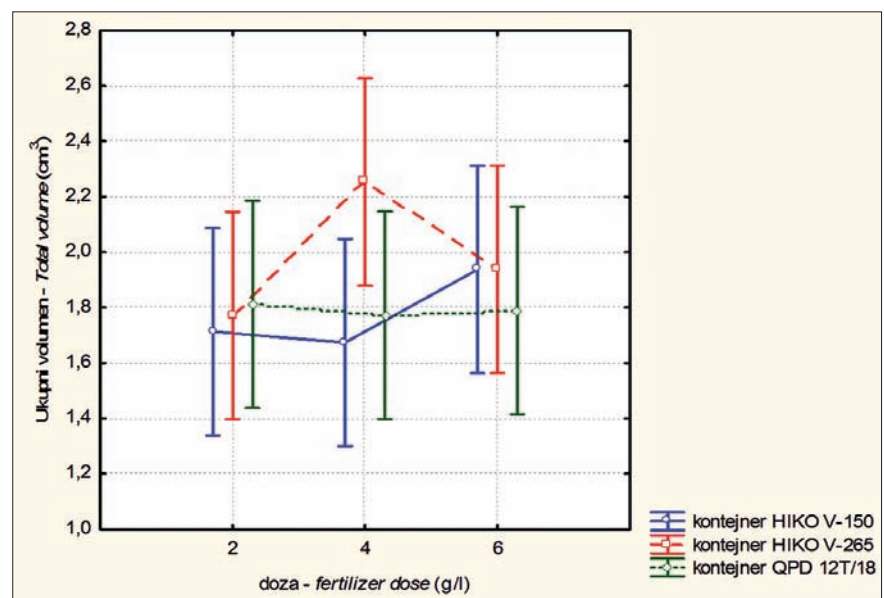


Slika 12. Oplošje korijena sadnica crnog bora (cm²) prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 12 Surface area of root of black pine seedlings (cm²) by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.

Slika 13. Ukupni volumen korijena sadnica crnog bora (cm³) prema tipu kontejnera i dozi gnojiva. Okomiti stupci predstavljaju 0,95 interval pouzdanosti.

Figure 13 Total volumen of root of black pine seedlings (cm³) by container type and fertilizer dose. Vertical bars represent 0,95 confidence intervals.



ZAKLJUČCI – Conclusions

S obzirom da je u ovom pokusu ispitivan biljni materijal predviđen za sadnju na kršu, sama visina sadnica nije jedini čimbenik za ocjenu kvalitete sadnica, kao što je to uobičajeno u praksi. Ocjena kvalitete mora se zasnivati na uravnoteženom razvoju biljaka, koje uz normalan rast nadzemnog dijela moraju imati dobro razvijen i aktivan korijenski sustav, kao i uskladištenu odgovarajuću rezervu hraniva u tkivima. Prema tome, u ispitivanje i ocjenjivanje kvalitete sadnica treba, uz morfološke, uključiti i fiziološke parametre.

Gnojidba s Osmocote Exact gnojivom utjecala je na koncentracije biogenih elemenata u iglicama sadnica crnog bora. Najizrazitiji je pozitivan utjecaj gnojidbe na koncentracije dušika u biljnom materijalu. Kod fosfora najizraženije je povećanje koncentracija u iglicama s dozom gnojiva u kontejnerima HIKO V-150. Gnojidba

je negativno utjecala na koncentracije kalcija u iglicama, međutim, bez obzira na primijenjenu dozu gnojiva, nedostatak kalcija nije utvrđen.

Što se tiče razvoja nadzemnog dijela sadnica, i doza i tip kontejnera utjecali su na rast u visinu i rast promjera vrata korijena. Najveće visine i promjeri postignuti su u kontejnerima HIKO V-265 pri najvećoj dozi gnojiva. Kod kontejnera HIKO V-150 pri najvećoj dozi gnojiva prevladava rast u visinu nauštrb rasta promjera.

Kod razvoja podzemnog dijela osobito je izražen utjecaj tipa kontejnera. Od promatranih parametara doza je utjecala na duljinu i volumen korijena, ali ne i na broj korjenčića ili broj vrhova. Utjecaj gnojidbe na razvoj korijena izražen je jedino kod kontejnera HIKO V-150, gdje biljke pri najvećoj dozi gnojidbe razvijaju najveći broj aktivnog korijenja.

LITERATURA – References

- AOAC, 1996: Official methods of analysis of AOAC International, Association of Official Analytic Chemists International, Arlington, VA.
- Bagherzadeh, A., R. Braumme, F. Beese, 2008: Biomass and nutrients allocation in pot cultured beech seedlings: influence of nitrogen fertilizer. *Journal of Forest Research* 19(4): 263–270.
- Barčić, D., Ž. Španjol, R. Rosavec, 2011: Utjecaj na stanište i razvoj šumskih kultura crnoga bora (*Pinus nigra* J. F. Arnold) na krškom submediteranskom području (*Impact on Site and Development of Black Pine (Pinus nigra J.F. Arnold) Forest Cultures in the Submediterranean Karst Area*). *Croatian Journal of Forest Engineering* 32(1): 131–140.
- Baule, H., C. Fricker, 1971: Đubrenje šumskog drveća. Jugoslovenski 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.
- De Vries, W., G.J. Reinds, M.S. van Keerkvorde, C.M.A. Hendriks, E.E.J.M. Leeters, C.P. Gross, J.C.H. Voogd, E.M. Vel, 2000: Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, FIMCI, EC–UN/ECE, Brussels, Geneva.
- Dokuš, A., 1969: Uzgoj biljaka na iglicama obične smreke. *Radovi J. institut za četinjače* br. 2, 5–16.
- Dominguez–Lerena S., N. Herrero Sierra, I. Carrasco Manzano, L. Ocana Bueno, J.L. Penuelas Rubira, J.G. Mexal, 2006: Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* 221:63–71.
- 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.
- Graca, M.E.C., D.F. Hamilton, 1981: Effects of controlled-release fertilizer on root and shoot growth of *Cotoneaster divaricata* Rehd. & Wils. *Scientia Horticulturae* Volume 15, Issue 1, p. 87–91.
- Hathaway, R.D., C.E. Whitcomb, 1984: Nutrition and Performance of Container-Grown Japanese Black Pine Seedlings. *J. Environ. Hort.* 2(1):9–12.
- Jacobs, D. F., D. L. Haase, R. Rose, 2005: Growth and Foliar Nutrition of Douglas-Fir Seedlings Provided with Supplemental Polymer-Coated Fertilizer. *Western Journal of Applied Forestry*, Volume 20, Number 1, pp. 58–63.
- Komlenović, N., 1969: Neki rezultati primjene mineralnih gnojiva kod uzgoja sadnica četinjača na posebnim supstratima. *Radovi J. institut za četinjače* br. 2, 27–36.
- Komlenović, N., 1992a: Fiziologija i prehrana šumskog drveća. U: Rauš, Đ. (ur.), Šume u Hrvatskoj: 121–130, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i "Hrvatske šume", p.o. Zagreb, Zagreb.
- Komlenović, N., 1992b: Primjena gnojiva s produženim djelovanjem u proizvodnji sadnica primorskih borova. *Šum. list* (1–2): 19–27, Zagreb.
- Komlenović, N., 1992c: Primjena gnojiva s produženim 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 gnojiva u uzgoju šumskih biljaka obloženog korijenovog 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.
- Komlenović, N., P. Rastovski, Đ. Markoja, 1980: Rast biljaka crnog bora (*Pinus nigra* var. *austriaca* Asch. et Gr.) i brucijskog bora (*Pinus brutia* Ten.) prema upotrebljenim sjetvenim supstratima i mineralnim gnojivima. *Šumar. list* (11/12):461–470, Zagreb.
- 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 7th International Beech Symposium, IUFRO Research Group 1.10.00, 10–20 May 2004, Tehran, Iran.
- Matić, S., N. Komlenović, S. Orlić, M. Oršanić, 1996: Rasadnička proizvodnja hrasta lužnjaka. U: Klepac, D. (ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj: 159–166, Hrvatska akademija znanosti 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. Artero, D.F. Jacobs, 2004: Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae* 103: 113–129.

- Potočić N., I. Seletković, M. Čater, T. Čosić, M. Šango, M. Vedriš, 2009: Ekofiziološki odziv suncu izloženih sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) pri različitim razinama gnojivbe. Šum list (5–6): 289–230, Zagreb.
- Puertolas, J., L. Gil, J.A. Pardos, 2003: Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. Forestry 76(2): 159–168.
- Raitio, H., 1993: Chemical needle analysis as a diagnostic and monitoring method. U: Nilsson, L.O., R.F. Huettli i U.T. Johansson (Ur.), Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems.: 197–202, Kluwer, Dordrecht.
- Rastovski, P., 1979: Utjecaj N, P i K hraniva na rast biljaka obične smreke (*Picea abies* Karst.) uzgajanih na posebnom supstratu. Agrohemija, No 3–4, Beograd.
- 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 RR, F. J. Rohlf, 1995: Biometry, Freeman and Company, New York.
- StatSoft, Inc., 2003: Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.
- Šrámek, F., M. Dubský, 2002: Influence of fertilization application and growing substrate on container-grown woody ornamentals. Rostlinná výroba 48(10) 448–457.
- Van den Burg, J., 1990: Foliar analysis for determination of tree nutrient status – a compilation of literature data. Literature 1985–1989. “De Dorschkamp”, Institute for Forestry and Urban Ecology. Wageningen.
- van den Driessche, R., 1992: Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen 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.
- Walker, R. F., C. D. Hunt, 2000: Production of Containerized Jeffrey Pine Planting Stock for Harsh Sites: Growth and Nutrition as Influenced by Controlled-Release Fertilization. Western Journal of Applied Forestry, Volume 15, Number 2, pp. 86–91.
- Vidaković, M. 1993: Četinjače – morfologija i varijabilnost. U: (Vidaković, M.). Grafički zavod Hrvatske, Zagreb i “Hrvatske šume”, Zagreb.
- WinRhizo <http://www.regentinstruments.com/products/rhizo/Rhizo.html>.

SUMMARY: Although growing of conifer seedlings in containers is nothing new, our knowledge is deficient when it comes to various combinations of substrates, container types and different fertilizers and fertilizer doses, especially with tree species aimed at planting in the coastal zone of Croatia.

*This paper presents the results of the experiment testing the influence of various types of containers and doses of slow-release fertilizer (Osmocote Exact Standard 5–6 M) on the growth and physiological parameters of Black pine (*Pinus nigra* Arn.) seedlings.*

The trial was set up in the nursery Omiš, Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, as a randomized block in four repetitions. Treatments were different container types (HIKO V–150, HIKO V–265, QPD 12T/18) and fertilizer doses (2,4 or 6 g/l of substrate). Concentrations of nitrogen, phosphorous, potassium, calcium, magnesium were determined in the needles of seedlings. Seedling heights and root collar diameters were measured at the end of the first vegetation season, and root traits were analysed with software package WinRhizo.

Fertilization with Osmocote Exact had an influence on concentrations of mineral nutrients in black pine needles. The most marked positive influence of fertilization can be seen in nitrogen concentrations in needles (Fig. 1). With

phosphorous the concentrations were rising with dose especially in HIKO V-150 containers (Fig. 2). Fertilization had a negative influence on calcium concentrations, but the deficiency of calcium was not established, regardless of applied fertilizer dose (Fig. 4).

Both dose and container type influenced significantly the development of height and root collar diameter of seedlings (Table 3, Figs. 6 and 7). Maximum height and root collar diameter of seedlings were recorded in HIKO V-265 containers at the highest fertilizer dose. With HIKO V-150 containers the highest dose will favor height growth at the expense of root collar diameter. The type of container was decisive for the development of roots. Fertilizer dose had a significant influence on length and volume of roots, but not on the number of fine roots or number of root tips. The influence of fertilizer on fine root development is most pronounced with HIKO V-150 containers, where seedlings fertilized with the largest dose developed the highest number of active roots in comparison with other container types.

Key words: black pine (Pinus nigra Arn.), containers, Osmocote Exact Standard 5-6M, seedling height, root collar diameter, nutritional status, WinRhizo