

UTJECAJ KRUPNOĆE ŽIRA NA MORFOLOŠKI RAZVOJ JEDNOGODIŠNJIH SADNICA HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.) U UVJETIMA RAZLIČITE DOSTUPNOSTI SVJETLA

EFFECT OF ACORN SIZE ON MORPHOLOGICAL DEVELOPMENT OF ONE-YEAR-OLD
SEEDLINGS OF PEDUNCULATE OAK (*Quercus robur* L.) IN DIFFERING LIGHT CONDITIONS

Valentin ROTH¹, Stjepan DEKANIĆ¹, Tomislav DUBRAVAC¹

SAŽETAK: Kakvoća sadnica povezana je s kvalitetom sjemena od kojega se proizvode, a u vrsta krupnoga sjemena, poput hrasta lužnjaka, kvaliteta sadnice nakon prve vegetacijske sezone povezana je s krupnoćom žira, odnosno količinom hranjiva pohranjenom u žiru. Stoga je cilj ovoga istraživanja ispitati utjecaj krupnoće žira na morfološki razvoj lužnjakovih sadnica tijekom prve godine života u uvjetima različite dostupnosti svjetla. Ukupno je u Bosnaplast kontejnere napunjene tresetom posijan 891 okularno zdravi žir hrasta lužnjaka porijeklom iz priznate sjemenske sastojine. Dio kontejnera postavljen je pod zasjenu od trske, kojim je ograničena dostupnost užitnog svjetla na oko 10 %. Na poduzorku od 25 biljaka obavljene su detaljne izmjere lisne površine, te je analizom suhe tvari ustanovljena biomasa glavnih dijelova biljaka. Na kraju vegetacije svim su biljkama izmjerene visine i promjer vrata korijena. Uloga krupnoće žira puno je izraženija kod sadnica uzgojenih u uvjetima punoga užitnog svjetla. S povećanjem krupnoće žira povećavala se prosječna visina i promjer vrata korijena, prosječna lisna površina sadnice i ukupna masa suhe tvari sadnice. Jedino ispitivano svojstvo koje se smanjivalo s povećanjem krupnoće žira je specifična lisna površina, što ukazuje na deblje plojke listova kod sadnica iz krupnijega žira. Kod lužnjakovih sadnica uzgojenih u zasjeni, utvrđeno je da je za mnoga od istraženih morfoloških svojstava važniji utjecaj dostupnoga svjetla, nego krupnoće žira. No, i u uvjetima zasjene sadnice hrasta lužnjaka uzgojene iz krupnijega žira, imale su veće prosječne visine i promjere vrata korijena od sadnica iz sitnoga žira. Rezultati istraživanja ukazuju da postoje mogućnosti za poboljšanje kvalitete u proizvodnji sadnica hrasta lužnjaka s obzirom na veličinu žira. Međutim, daljna detaljna istraživanja potrebna su kako bi se došlo do konačnih zaključaka i preporuka za praktičnu primjenu.

Ključne riječi: hrast lužnjak, krupnoća žira, svjetlo, jednogodišnje sadnice, rasadnička proizvodnja

UVOD – Introduction

Neredoviti urod žira i problemi koji se javljaju kod obnove sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), razlog su stalnog povećanja potreba za šumskim sadnicama

naše najvrednije vrste drveća (Orlić 2000). Na primjer, isporuka sadnica hrasta lužnjaka u razdoblju 1991–1998. godine, iznosila je oko 7 mil. kom. godišnje, dok su planirane količine za razdoblje 1999–2003. iznosile od 7,5 do 8,2 mil. kom. (Žgela 1999). Uz povećanje količine proizvedenih sadnica, trebalo bi nastojati i povećati proizvodnju kvalitetnijih sadnica koje će bolje ispuniti namijenjenu im zadaću tijekom sadnje na terenu. Pri

¹ Dr. sc. Valentin Roth; Stjepan Dekanić, dipl. ing. šum;
Dr. sc. Tomislav Dubravac
Zavod za uzgajanje šuma, Hrvatski šumarski institut
Cvjetno naselje 41, HR-10450 Jastrebarsko
kontakt osoba: Valentin Roth, rothv@sumins.hr

tome je posebno zanimljiva kontejnerska proizvodnja sadnica obloženoga korijena, koje je moguće saditi tijekom većega dijela godine (Orešković i dr. 2006).

Krupnoća žira hrasta lužnjaka kao ključni čimbenik početnoga rasta i razvoja biljaka, izaziva zanimanje već duži niz godina, kako naših, tako i stranih praktičara i znanstvenika. U domaćoj literaturi, koja se krupnoćom žira lužnjaka bavi s različitim stajališta, pojavljuje se široki raspon izmjerenih duljina i promjera žireva. Na primjer, Roth (1999) na 14 uzoraka iz Podravine, Posavine i Istre utvrđuje duljine žireva od 20,4 do 49,8 mm i promjere od 10,4 do 29,5 mm; Franjić i Škvorc (2001) na uzorcima iz Podravine, Posavine i Pokuplja duljine žira mjere od 15,1 do 41,6 mm i promjere od 9,8 do 21,5 mm; Crnković (2004) na 198 uzoraka iz sliva rijeke Česme utvrđuje duljine žira od 30,9 do 32,3 mm i promjere od 15,1 do 16,1 mm; a Roth i dr. (2009) na uzorku iz sjemenske sastojine "Zdenački Gaj" mjere duljine žireva od 23,5 do 39,5 mm i promjere od 14,0 do 22,0 mm.

Istraživanja na nekoliko vrsta europskih i američkih hrastova pokazala su da je krupnoća žira pozitivno povezana sa: postotkom iskljalih žirova, naglim razvojem izbojka (nadzemnog dijela), postotkom preživljenja sadnica, većom biomasom korijena, povoljnijim odnosom mase korijena i mase nadzemnog dijela, te bržim oporavkom sadnica od defolijacije i obgrizanja (Korstian 1927, McComb 1934, Tripathi i Khan 1990, Tecklin i McCreary 1991, Bonfil 1998, Roth i dr. 2009).

MATERIJAL I METODE – *Material and methods*

Za istraživanje je upotrijebljen žir hrasta lužnjaka iz uroda 2006. godine, podrijetlom iz Sjemenske sastojine (ISS) 392-II-1994 u GJ "Jastrebarski lugovi", Šumarija Jastrebarsko, UŠP Karlovac.

Nakon sabiranja žir je prosušen na 35 % vlažnosti i skladišten u hladnjači na temperaturi od +2 °C. Uz 35 % vlažnost u 1 kg ima 187 žirova, a specifična masa (masa 1 000 kom) iznosi 5 347 g.

Pokus je postavljen početkom svibnja 2007. godine, sjetvom žira u kontejnere od tvrde plastike. Korišteni su kontejneri "Bosnaplast" koji se sastoje od 33 međusobno odvojena lončića visine 18 cm. Pojedini lončić ima površinu gornjeg otvora od 15,7 cm² i volumen od 220 cm³. Kontejneri su napunjeni tresetno-humusnim supstratom "SUBSTRATAS – UNIVERSALUS", Litva. Prema obavljenim laboratorijskim analizama, upotrijebljeni supstrat ima pH vrijednost od 5,55 te sadrži 90 % organske tvari. S obzirom na zastupljenost hranjiva, u supstratu se nalazi 249,70 mg/100 g P₂O₅ i 235,94 mg/100 g K₂O, te 0,90 % dušika.

Prije sjetve obavljena je izmjera duljine, promjera i mase poduzorka od 198 žireva, kako bi se odredio kri-

terij po kojemu će se žirevi razvrstavati u klase krupnoće. Regresijskom je analizom ustanovljeno da masa žira puno više ovisi o promjeru nego o duljini žira (vidi poglavlje Rezultati s raspravom), pa je žir prema tome razvrstavan u tri razreda krupnoće na temelju promjera žira:

Uzimajući u obzir sve navedeno, može se reći da bi sadnice proizvedene iz krupnijeg žira trebale:

- a) biti vitalnije i otpornije što bi pospješilo uspjeh njihove presadnje na teren, te
- b) poboljšati financijske rezultate rasadničke proizvodnje, jer bi se uporabom krupnijeg sjemena trebao dobiti veći postotak kvalitetnijih sadnica s većom cijenom koštanja.

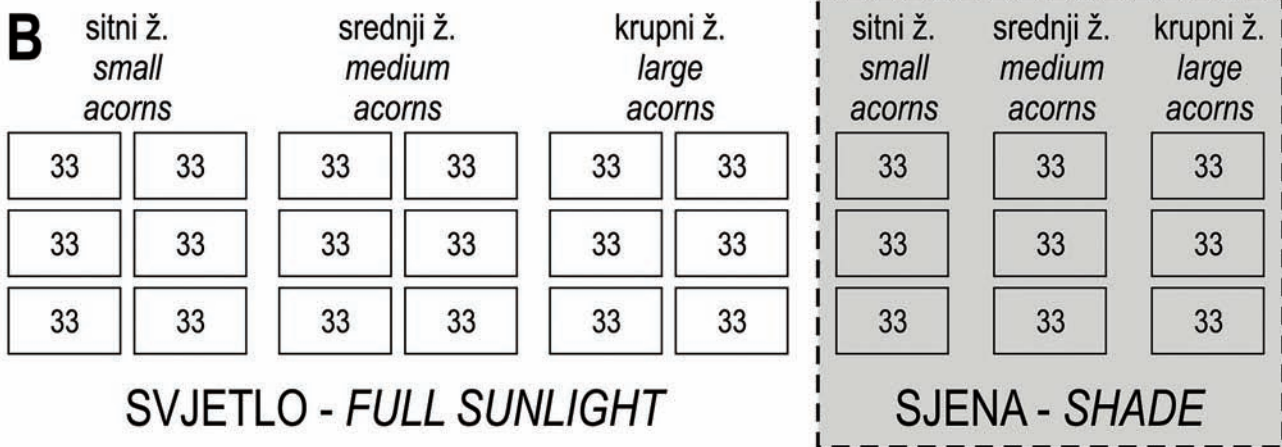
Stoga je cilj ovoga istraživanja ispitati utjecaj krupnoće žira na morfološki razvoj sadnica hrasta lužnjaka tijekom prve vegetacijske sezone, posebice s obzirom na visinu i promjer korijenovog vrata sadnica, značajke asimilacijske površine te distribuciju biomase sadnica u nadzemnom i podzemnom dijelu biljke. Kako bi se dodatno naglasila uloga krupnoće žira, razvoj sadnica promatrat će se i u uvjetima ograničene dostupnosti svjetla. Također će se ispitati koja od veličina žira (duljina, promjer) bolje procjenjuje masu žira, imajući u vidu mogućnost korištenja duljine ili promjera žira kao kriterija za mehanizirano sortiranje po krupnoći.

terij po kojemu će se žirevi razvrstavati u klase krupnoće. Regresijskom je analizom ustanovljeno da masa žira puno više ovisi o promjeru nego o duljini žira (vidi poglavlje Rezultati s raspravom), pa je žir prema tome razvrstavan u tri razreda krupnoće na temelju promjera žira:

1. sitni žir: ≤ 16 mm promjera,
2. žir srednje krupnoće: od 16,1 mm do 17,9 mm promjera,
3. krupni žir: ≥ 18 mm promjera.

U svaki lončić kontejnera sijan je po jedan žir, pri čemu se vodilo računa o prostornom rasporedu žireva u kontejneru i kontejnera u pokusu, da bi se izmjerama moglo pratiti svaki žir pojedinačno. Svakom je žiru prije sjetve izmjeren promjer i masa, te je prema promjeru posijan u kontejner odgovarajućeg razreda krupnoće. Ukupno je u pokusu izmjeren i posijan 891 žir.

Svaki razred krupnoće žira (sitni, srednji, krupni) u pokusu je zastupljen s po 297 žireva. Fotografija i skica pokusa postavljenog u rasadniku Hrvatskog šumarskog instituta prikazani su na slici 1.



Slika 1. (A) Fotografija pokusa u rasadniku Hrvatskog šumarskog instituta u Jastrebarskom, (B) skica rasporeda kontejnera u pokusu prema razredima krupnoće žira i uvjetima dostupnosti svjetla

Figure 1 (A) Photo of the experiment in the nursery of the Croatian forest research institute in Jastrebarsko, (B) layout of the experiment according to the classes of acorn size and light conditions

Za dio pokusa dostupnost svjetla ograničena je zasjenjivanjem prostirkama od trske (slika 1). Intenzitet osvjetljenosti pod zasjenom iznosio je 10 % od osvjetljenosti na otvorenom, prema rezultatima izmjere instrumentom "LIGHT METER PCE-L 335" (PCE Group oHG, Njemačka).

Početkom listopada 2007. godine, dok su biljke na sebi još sadržavale potpuno razvijen list, iz pokusa je izvađeno 25 biljaka za detaljne analize lisne površine i određivanje mase suhe tvari. Iz svakog razreda krupnoće žira na otvorenom i u zasjeni za analize su odabrane biljke prosječne veličine (visina, razvijenost lisne površine). Nakon vađenja, biljkama su skinuti listovi te su presijecanjem u razini vrata korijena razdvojene na nadzemni i podzemni dio. U okviru pola sata nakon skidanja s biljke, listovi su skenirani, te im

je naknadno iz skeniranih slika pomoću programa *ImageJ* određena površina (m²). Listovi, nadzemni i podzemni dijelovi biljaka su potom sušeni na 105 °C do konstantne mase, te im je vaganjem određena masa suhe tvari (g). Svakoj je biljci određena specifična lisna površina (m² kg⁻¹) tako da je ukupna površina listova podijeljena s ukupnom masom suhe tvari listova. Svim su biljkama na kraju vegetacije izmjerene visine i promjeri vrata korijena.

Ovisnost mase žireva o duljini i promjeru ispitana je linearnom regresijskom analizom. Utjecaj učinkovitosti krupnoće žira i dostupnosti svjetla na promatrane značajke sadnica (visine i promjer korijenovog vrata, značajke lisne površine te distribucija suhe tvari po komponentama) ispitano je analizom varijance. Statističke analize obavljene su u programskom paketu *R*

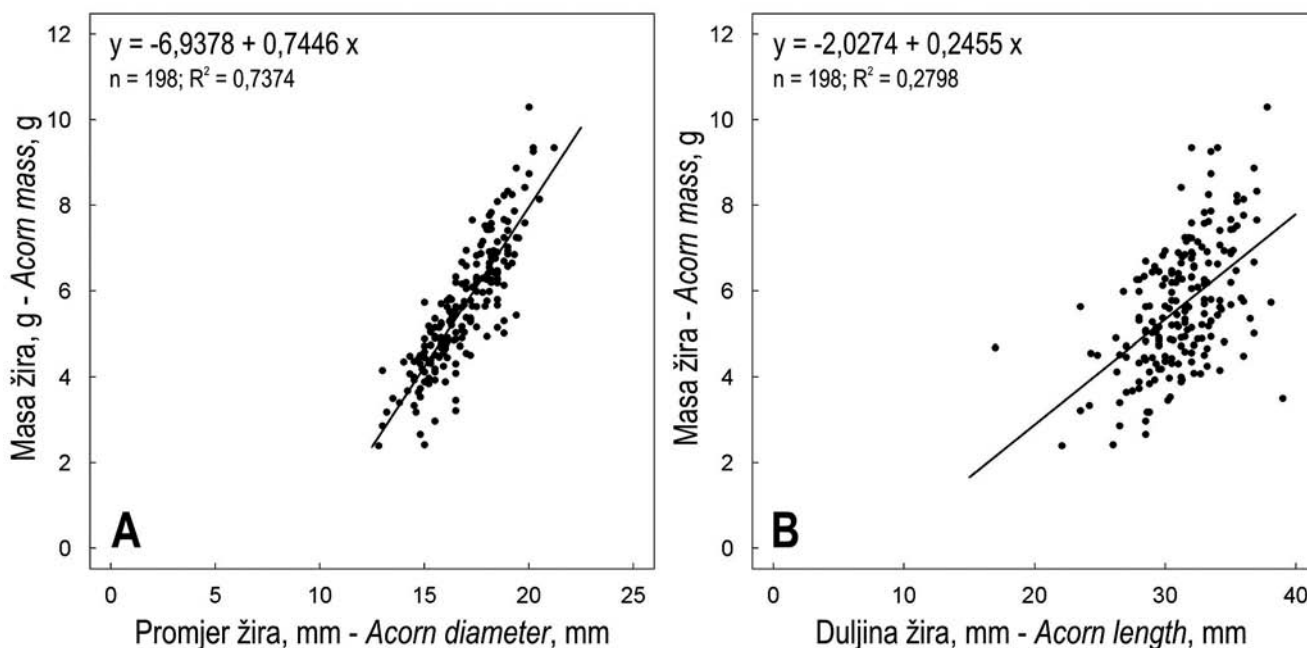
(Bolker 2007, Dalgaard 2002). Na priloženim grafikonima prosječne vrijednosti koje su prikazane

kao stupci, upotpunjene su vertikalnom crtom koja prikazuje vrijednost standardne pogreške.

REZULTATI S RASPRAVOM – Results and discussion

U praktičnome smislu, moguće buduće mehanizirano razdvajanje žira prema krupnoći najlakše bi bilo izvesti nekim oblikom sita. Stoga smo regresijskom analizom ispitali koja od dvije osnovne dimenzije žira (duljina, širina) pokazuje veću povezanost s masom žira (slika 2). Masa žira u puno većoj mjeri ovisi o promjeru ($R^2 = 0,7374$), nego o duljini žira ($R^2 = 0,2798$). Iz dobivenoga je linearnog modela ovisnosti mase o promjeru žira (slika 2A) za provjeru izračunata masa ostalih žireva u pokusu. Dobivena korelacija između

izračunatih i izmjerenih masa žireva je vrlo visoka ($r = 0,8788$, $p < 0,8788$, $n = 693$), što ukazuje za opravdanost korištenja promjera žira kao indikatora mase žira, odnosno količine hranjiva u kotiledonima. Posebice stoga, što je već u prijašnjim radovima pokazano da kod vrsta roda *Quercus* postoji vrlo jaka povezanost ($R^2 = 0,995$) između mase žireva u svježem stanju i mase suhe tvari kotiledona (Bonfil 1998), te da postoji visoka korelacija između veličine žira i sadržaja hranjiva (Tripathi i Kahn 1990).



Slika 2. Regresijske analize ovisnosti mase žira o promjeru žira (A) i duljini žira (B)
Figure 2 Regression analyses of acorn mass over the acorn diameter (A) and acorn length (B)

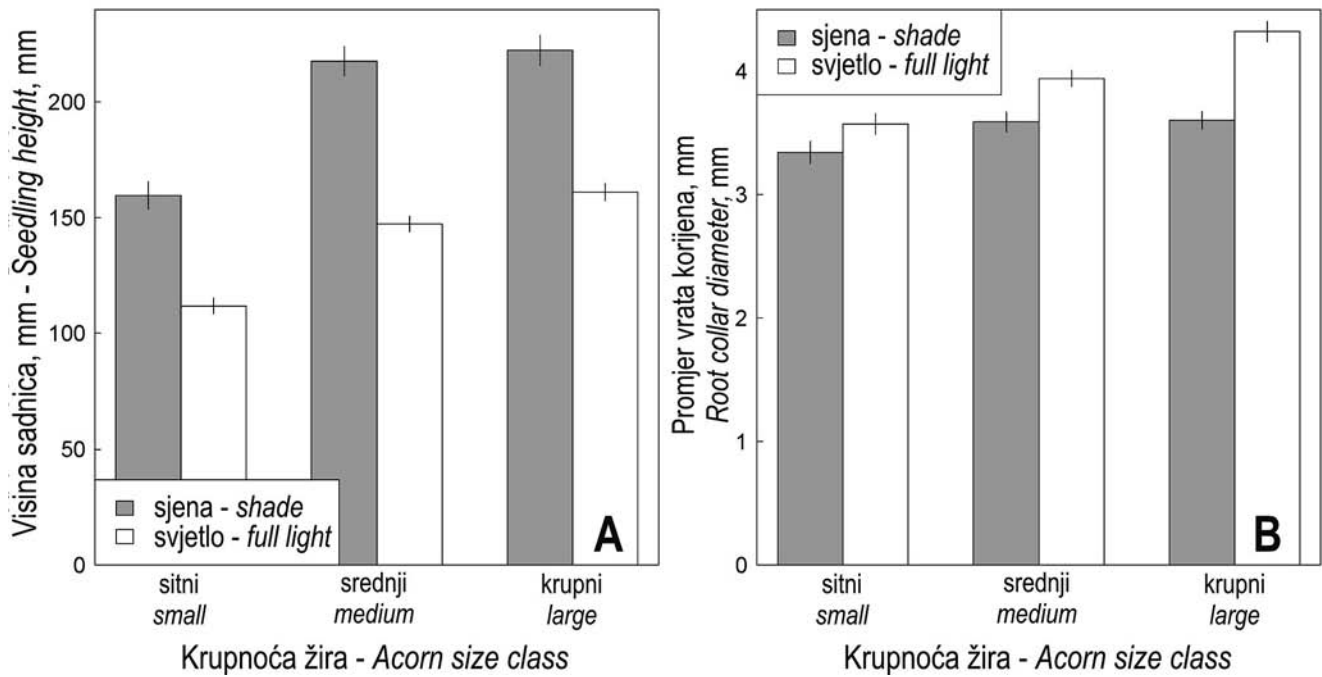
Od ukupno posijanih 891 žireva na kraju pokusa dobiveno je 659 biljaka, što iznosi 73,96 %. Nije bilo značajnih razlika u postotku dobivenih biljaka s obzirom na krupnoću žira i svjetlosne uvjete.

Prosječne visine sadnica i promjeri korijenovog vrata dobivenih biljaka po razredima krupnoće žira i svjetlosnim uvjetima prikazani su na slici 3, a rezultati dobiveni analizom varijance u tablici 1.

Prosječne visine i promjeri korijenovog vrata sadnica statistički se značajno razlikuju s obzirom na krupnoću žira i svjetlosne uvjete (tablica 1). Sadnice uzgojene pod zasjenom imaju veće visine i manje promjere vrata korijena od sadnica koje su rasle u uvjetima punog svjetla (slika 3). Veće visine i manji promjeri vrata korijena sadnica pod zasjenom upućuju na plastičnost morfološkoga razvoja lužnjakovih sadnica kao mjere adaptacije

na različite stanišne uvjete. Povećanje stupnja vitkosti nadzemnoga drvenastog dijela sadnica sa smanjenjem dostupnoga svjetla već je zabilježeno u literaturi, kako za hrast lužnjak (Vera 2000), tako i za neke druge vrste hrastova (npr. Cardillo i Bernal 2006). I visine i promjeri vrata korijena sadnica povećavaju se s povećanjem krupnoće žira, i na svjetlu, i u zasjeni. Utjecaj krupnoće žira na visine i promjer korijenova vrata sadnica izraženiji je u uvjetima pune dostupnosti svjetla. Kod zasjenjenih su biljaka sadnice iz srednje krupnog i krupnog žira imale podjednake visine i promjere korijenova vrata.

S obzirom na lisnu površinu ispitana su sljedeća svojstva sadnica: ukupna lisna površina sadnice (m^2) i specifična lisna površina ($m^2 kg^{-1}$) (tablica 2 i slika 4). Analiza varijance pokazala je da na lisnu površinu



Slika 3. Visina (A) i promjer korijenovog vrata (B) sadnica po razredima krupnoće žira i svjetlosnim uvjetima
 Figure 3 Height (A) and the root collar diameter (B) of the seedlings by acorn size classes and light conditions

biljke veći utjecaj ima dostupnost svjetla ($p < 0,01$), dok krupnoća žira ima manji, ali ipak statistički značajan utjecaj ($p < 0,05$). Za specifičnu lisnu površinu utvrđen je statistički značajan učinak samo dostupnosti svjetla ($p < 0,001$), dok utjecaj krupnoće žira nije statistički značajan. Ukratko se može reći da su sadnice koje su rasle u zasjeni u prosjeku razvile listove veće površine, veću ukupnu lisnu površinu i veću specifičnu lisnu površinu. Povećanje lisne površine i specifične lisne površine lužnjakovih sadnica sa smanjenjem dostupnoga svjetla ustanovljeno je i u drugim radovima

(van Hees 1997, Wagner i Dreyer 1997). Zbog smanjenja svjetla povećava se specifična lisna površina ($m^2 kg^{-1}$), odnosno po jedinici biomase dobiva se veća površina, što rezultira povećanjem prosječne površine lista i ukupne lisne površine biljke. Na ovaj način mlade hrastove biljke pokušavaju smanjen dotok svjetla nadoknaditi povećanjem površine za njegovu intercepciju. Kod sadnica uzgajanih na punom svjetlu lisna se površina povećava proporcionalno s povećanjem krupnoće žira, dok se specifična lisna površina proporcionalno smanjuje (slika 4). Smanjenje specifi-

Tablica 1. Rezultati analize varijance utjecaja svjetla i krupnoće žira na visinu i promjer korijenovog vrata sadnica

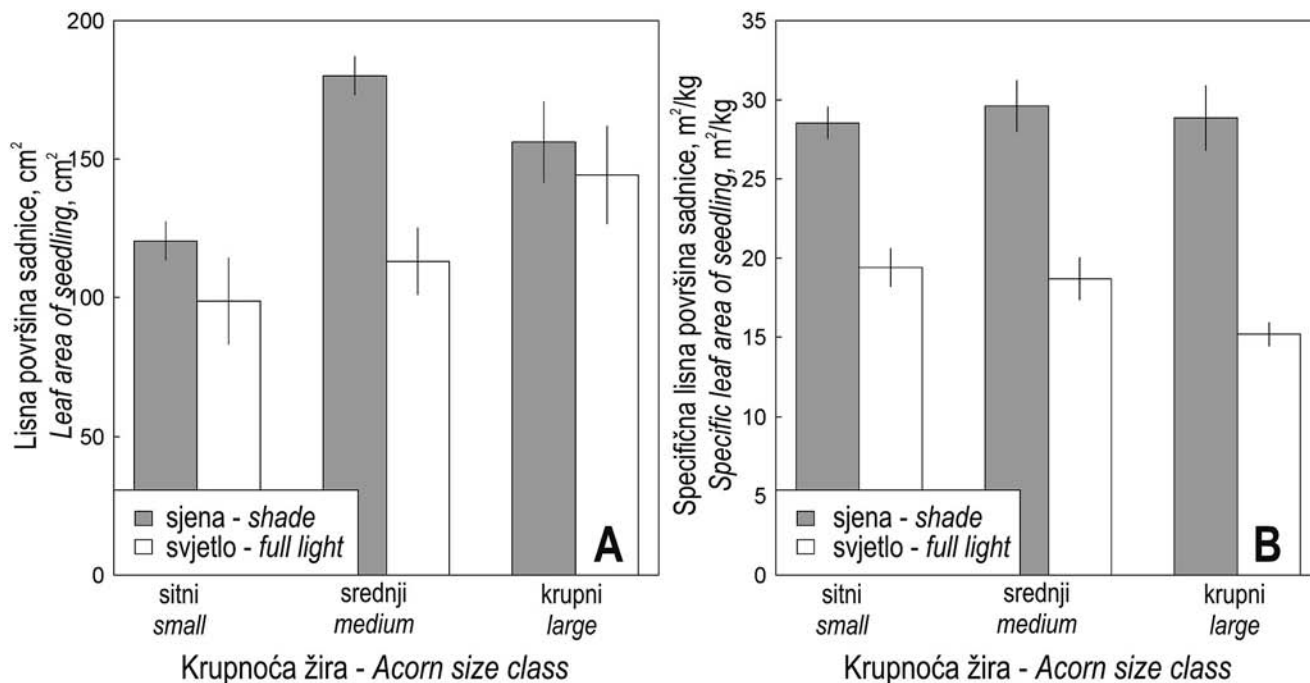
Table 1 Results of the analysis of variance (ANOVA) of effects of light and acorn size on the height and root collar diameter of the seedlings

Ispitivano svojstvo <i>Variable</i>	Izvor varijabiliteta <i>Effect</i>	Statističke vrijednosti i analize varijance <i>ANOVA statistics</i>		
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Visina sadnica, mm <i>Seedling height, mm</i>	svjetlo <i>light</i>	1	227,635	< 0,001 ***
	krupnoća žira <i>acorn size</i>	2	78,154	< 0,001 ***
Promjer korijenovog vrata sadnica, mm <i>Root collar diameter of the seedlings, mm</i>	svjetlo <i>light</i>	1	41,721	< 0,001 ***
	krupnoća žira <i>acorn size</i>	2	23,646	< 0,001 ***

razina statističke značajnosti: *** = 0,001; ** = 0,01; * = 0,05; ns = nije signifikantno
 significance codes: *** = 0,001; ** = 0,01; * = 0,05; ns = not significant

čne lisne površine znači da jedinična površina lista postaje teža, odnosno deblja. Na primjer, u sličnom su istraživanju Valladares i dr. (2002) ustanovili da je plojka lista sadnica hrasta lužnjaka uzgajanih na punom svjetlu oko 54 % deblja od plojke sadnica uzgajanih u uvjetima 15 % užitnoga svjetla. U ovome su po-

ku sadnice iz krupnoga žira na punom svjetlu razvile gotovo istu lisnu površinu kao i sadnice iz krupnoga žira pod zasjenom (slika 4A), ali su kod sadnica u zasjeni listovi puno lakši (tanji) jer je specifična lisna površina gotovo dvostruko veća (slika 4B).



Slika 4. Lisna površina (A) i specifična lisna površina (B) sadnica po razredima krupnoće žira i svjetlosnim uvjetima
 Figure 4 Leaf area (A) and specific leaf area (B) of the seedlings by acorn size classes and light conditions

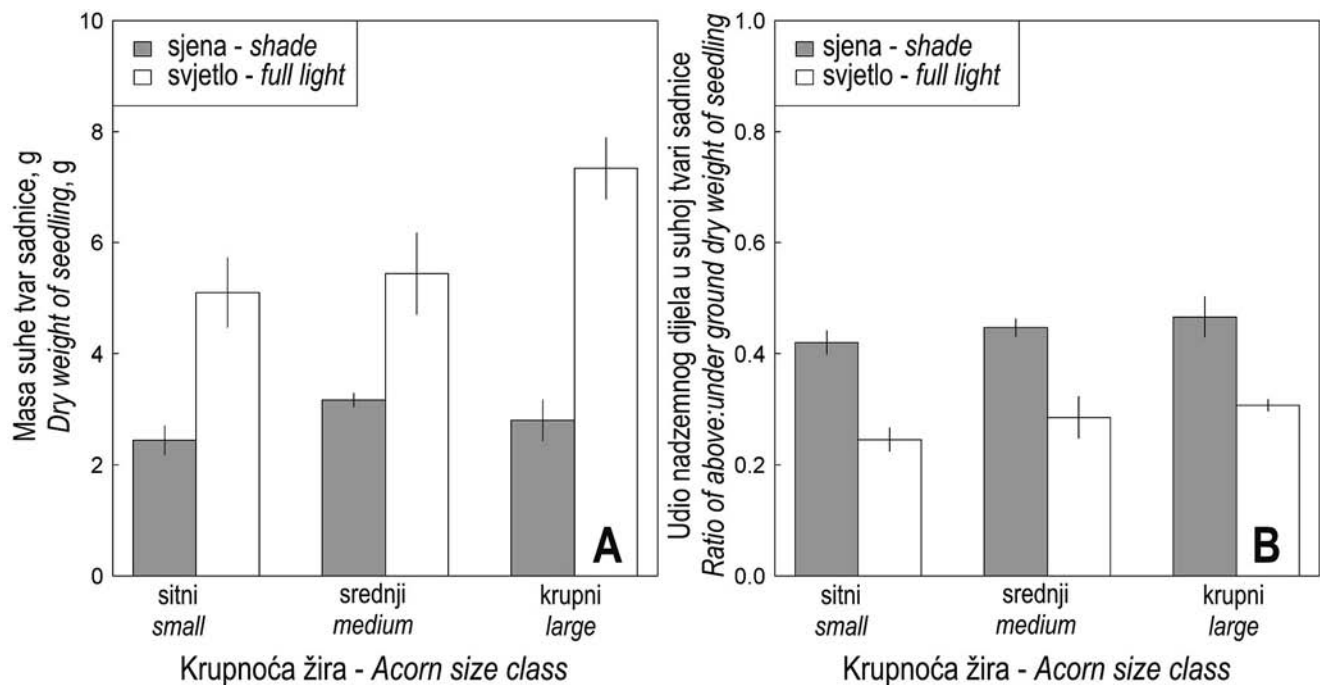
Tablica 2. Rezultati analize varijance utjecaja svjetla i krupnoće žira na značajke lisne površine sadnica
 Table 2 Results of the analysis of variance (ANOVA) of effects of light and acorn size on the leaf area features of the seedlings

Ispitivano svojstvo <i>Variable</i>	Izvor varijabiliteta <i>Effect</i>	Statističke vrijednosti analize varijance <i>ANOVA statistics</i>		
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Lisna površina biljke, cm ² <i>Leaf area per seedling, cm²</i>	svjetlo <i>light</i>	1	8,962	0,007 **
	krupnoća žira <i>acorn size</i>	2	4,910	0,018 *
Specifična lisna površina, m ² kg ⁻¹ <i>Specific leaf area m² kg⁻¹</i>	svjetlo <i>light</i>	1	93,939	< 0,001 ***
	krupnoća žira <i>acorn size</i>	2	1,402	0,268 ^{ns}

razina statističke značajnosti: *** = 0,001; ** = 0,01; * = 0,05; ns = nije signifikantno
 significance codes: *** = 0,001; ** = 0,01; * = 0,05; ns = not significant

U svojoj osnovi, proizvodnja suhe tvari biljke ovisi o ugradnji ugljikohidrata u fotosintetsku površinu, te o stopi vezanja ugljika (fotosinteza) po jedinici lisne površine (Pallardy 2008). Uobičajena reakcija biljaka na zasjenu je i smanjena proizvodnja biomase zbog manje fotosintetske aktivnosti (npr. Welander i Ottosson 2000).

Izračunate prosječne vrijednosti mase suhe tvari sadnica i udjela mase nadzemnoga dijela u ukupnoj masi suhe tvari sadnica prikazane su na slici 5, a rezultati analize varijance za ispitivana svojstva u tablici 3. Prosječne vrijednosti mase suhe tvari sadnice (p < 0,001) i udjela mase nadzemnog dijela u ukupnoj masi suhe tvari



Slika 5. Masa suhe tvari sadnica (A) i udio nadzemnog dijela biljke u ukupnoj masi suhe tvari sadnica (B) po razredima krupnoće žira i svjetlosnim uvjetima

Figure 5 Dry weight (A) and ratio of the aboveground:underground dry weight (B) of the seedlings by acorn size classes and light conditions

($p < 0,001$) statistički se značajno razlikuju između biljaka uzgajanih na svjetlu i u zasjeni. Masa suhe tvari sadnica pod zasjenom gotovo je dvostruko manja od mase suhe tvari sadnica uzgajanih pod punim svjetlom (slika 5A), što je bilo i očekivano s obzirom da su sadnice za fotosintezu na raspolaganju imale samo 10 % od svjetla koje su dobivale sadnice na otvorenom. S obzirom na raspodjelu biomase (slika 5B), zasjenjene su sadnice ostvarile puno veći udio nadzemnoga dijela biljke u ukupnoj masi suhe tvari. To je povezano s promjenom u prioritetu izgradnje pojedinih dijelova biljke, pri čemu

se u zasjeni pojačava razvoj stabljike i lisne površine (slika 4), a na uštrb razvoja korijenovoga sustava (van Hees 1997, Wagner i Dreyer 1997).

Proizvodnja ukupne suhe tvari biljke povećava se s povećanjem krupnoće žira u slučaju sadnica uzgojenih na punom svjetlu, dok je u zasjeni dominantni čimbenik svjetlo. Udio nadzemnog dijela u ukupnoj masi suhe tvari biljke lagano se povećava od sitnog prema krupnom žiru, kako na punom svjetlu, tako i u zasjeni (slika 5B), iako se to povećanje nije pokazalo statistički značajno.

Tablica 3. Rezultati analize varijance utjecaja svjetla i krupnoće žira na masu suhe tvari i udio nadzemnog dijela u ukupnoj masi suhe tvari sadnica

Table 3 Results of the analysis of variance (ANOVA) of effects of light and acorn size on the dry weight and aboveground:underground ratio of the dry weight of the seedlings

Ispitivano svojstvo <i>Variable</i>	Izvor varijabiliteta <i>Effect</i>	Statističke vrijednosti analize varijance <i>ANOVA statistics</i>		
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Suha tvar sadnica, g <i>Dry weight of seedlings, g</i>	svjetlo <i>light</i>	1	45,777	< 0,001 ***
	krupnoća žira <i>acorn size</i>	2	2,632	0,096 ns
Udio nadzemnog dijela u masi suhe tvari sadnica <i>Aboveground:underground ratio of dry weight of seedlings</i>	svjetlo <i>light</i>	1	59,651	< 0,001 ***
	krupnoća žira <i>acorn size</i>	2	2,113	0,146 ns

razina statističke značajnosti: *** = 0,001; ** = 0,01; * = 0,05; ns = nije signifikantno
significance codes: *** = 0,001; ** = 0,01; * = 0,05; ns = not significant

ZAKLJUČCI – *Conclusions*

S obzirom na rezultate ovoga istraživanja za rasadničarsku je proizvodnju važniji dio koji se odnosi na sadnice uzgajane na punom svjetlu, što gotovo u potpunosti odgovara današnjem načinu kontejnerske proizvodnje hrastovih sadnica u Hrvatskoj. Drugi dio pokusa u kojemu su sadnice uzgajane u zasjeni, imao je namjenu ispitivanja utjecaja krupnoće žira u uvjetima ograničene dostupnosti jednog od najbitnijih čimbenika rasta i razvoja sadnica tijekom prve vegetacijske sezone. No, zaključci vezani uz dio pokusa u zasjeni barem djelomično mogu osvijetliti i ulogu krupnoće žira tijekom prve vegetacijske sezone na morfološki razvoj sadnica hrasta lužnjaka u sastojinskim uvjetima pod zasjenom krošanja.

Uloga krupnoće žira puno je izraženija kod sadnica koje su uzgojene u uvjetima punoga užitnog svjetla. S povećanjem krupnoće žira povećavala se visina i promjer vrata korijena sadnica, te lisna površina i ukupna masa suhe tvari sadnice. Jedino ispitivano svojstvo koje se smanjivalo s povećanjem krupnoće žira je specifična lisna površina, što ukazuje na deblje plojke listova kod sadnica iz krupnijega žira, odnosno veću količinu ugrađenih ugljikohidrata po jedinici površine lista.

Kod lužnjakovih sadnica uzgojenih u zasjeni utvrđeno je da je za mnoga od istraženih morfoloških svojstava važniji utjecaj dostupnoga svjetla, nego krupnoće žira. To se posebno odnosi na morfološke značajke lisne površine i načina na koji se ukupna biomasa biljke raspoređuje na pojedine komponente (korijen, stabljika, lisna površina). No, ipak i u uvjetima zasjene može se reći da su sadnice hrasta lužnjaka uzgojene iz krupnijeg žira imale veće prosječne visine i promjere vrata korijena.

Rezultati istraživanja ukazuju kako postoje mogućnosti za poboljšanje kvalitete u proizvodnji jednogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka, ako se uzime u obzir utjecaj krupnoće žira. Posebice zbog činjenice da je promjer žira dobar indikator mase žira, odnosno količine hranjiva u žiru, što omogućuje korištenje promjera žira kao kriterija za mehaničko sortiranje. Međutim, daljna su istraživanja potrebna kako bi se došlo do konačnih zaključaka i preporuka za praktičnu primjenu, pri čemu posebnu pozornost treba posvetiti praćenju i kvantificiranju uloge krupnoće žira tijekom više vegetacijskih sezona, uključujući rezultate postignute tijekom i nakon presadnje na teren.

LITERATURA – *References*

- Bolker, B., 2007: Ecological models and data in R. Princeton University Press, str. 516, Princeton and Oxford, UK
- Bonfil, C., 1998: The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 85: 79–87.
- Cardillo, E., C.J. Bernal, 2006: Morphological response and growth of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings at different shade levels. *Forest Ecology and Management* 222: 296–301.
- Crnković, S., 2004: Kvantitativne i kvalitativne osobine žira hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u sastojinama sliva rijeke Česme. *Šum. list CXXVIII* (7–8): 413–430.
- Dalgaard, P., 2002: Introductory statistics with R. Springer, str. 284, New York.
- Franjić, J., Ž. Škvorc, 2001: Dosadašnji rezultati istraživanja varijabilnosti hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., Fagaceae) u Hrvatskoj. U: *Znanost u poljnoj gospodarstvu hrvatskim šumama*, 53–59, Zagreb.
- Korstian, C.F., 1927: Factors controlling germination and early survival in oaks. *Yale University School of Forestry Bulletin* 19.
- McComb, A.L., 1934: The relation between acorn weight and the development of one year chestnut oak seedlings. *Journal of Forestry* 32: 479–484.
- Orešković, Ž., A. Dokuš, M. Harapin, T. Jakovljević, R. Maradin, 2006: Uzgoj sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i kitnjaka (*Quercus petraea* Liebl.) u različitim tipovima kontejnera. *Rad. Šumar. ins. Izvanredno izdanje* 9: 75–86.
- Orlić, S., 2000: Proizvodnja sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj, 1992–1998. godine. *Rad. Šumar. inst.* 35 (1): 83–90.
- Pallardy, S., 2008: Physiology of woody plants. Third edit., Elsevier, 454 str., Amsterdam.
- Roth, V., 1999: Neka svojstva sjemena hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz različitih sjemenskih zona i rajona Hrvatske. *Rad. Šumar. inst.* 34 (2): 53–76.
- Roth, V., T. Dubravac, I. Pilaš, S. Dekanić, Z. Brekalo, 2009: Krupnoća žira hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i kitnjaka (*Quercus petraea* Liebl.), kao čimbenik rasta i razvoja sadnica. *Šum. list CXXXIII* (5–6): 257–266.
- Tecklin, J., D.D. McCreary, 1991: Acorn size as a factor in early seedling growth of blue oaks. *USDA Forest Service General Technical Report PSW PSW-126*, 48–53.
- Tripathi, R.S., Khan, M.L. 1990: Effects of seed weight and microsite characteristics on germination and seedling fitness in two species of *Quercus* in a subtropical wet hill forest. *Oikos* 57: 289–296.

- Tripathi, R.S., M.L. Kahn, 1990: Effects of seed weight and microsite characteristics on germination and seedling fitness in two species of *Quercus* in a subtropical wet forest. *Oikos* 57: 289–296.
- Valladares, F., J.M. Chico, I. Aranda, L. Balaguer, P. Dizengremel, E. Manrique, E., E. Dreyer, 2002: The greater seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. *Trees* 16: 395–403.
- van Hees, A.F.M., 1997: Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Annals of Forest Science* 54: 9–18.
- Vera, F.W.M., 2000: *Grazing ecology and forest history*. CAB International, 506 str., Wallingford, UK.
- Wagner, P.A., E. Dreyer, 1997: Interactive effects of waterlogging and irradiance on the photosynthetic performance of seedlings from three oak species displaying different sensitivities (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. rubra*). *Annals of Forest Science* 54:409–429.
- Welander, N.T., B. Ottosson, 2000: The influence of low light, drought and fertilization on transpiration and growth in young seedlings of *Quercus robur* L.. *Forest Ecology and Management* 127: 139–151.
- Žgela, M., 1999: Proizvodnja šumskog sjemena u sjemenskim plantažama. *Rad. Šumar. ins.* 34 (1): 103–121.

SUMMARY: Increase of the share of high-quality seedlings in the total production on the one hand enhances the production efficiency of the nursery production, and on the other hand improves the probability for successful planting in the field. The quality of the seedlings after the first growing season is related to the quality of the seeds used. In the tree species with large seeds, like pedunculate oak (Quercus robur L.), quality is related to the size of the seed, i.e. the amount of stored nutrients. Therefore, the aim of this contribution is to evaluate the effect of acorn size on the morphological development of pedunculate oak seedlings during the first growing season under contrasting light regimes.

In total, 891 visually healthy acorns collected in the certified seed stand were planted in the "Bosnaplast" containers filled with peat (Figure 1). Part of the containers were kept in the shade of about 10 % of full light during the whole experiment. Before sowing, diameter, weight and length was measured on subsample of 200 acorns. Regression analysis showed that the acorn mass as the most important predictor of the nutrient content much more depends on the acorn diameter, than on the acorn length (Figure 2). Therefore, three acorn size classes were formed according to distribution of the acorn diameters: small acorns (≤ 16 mm of diameter), medium-sized acorns (16,1 mm to 17,9 mm of diameter) and large acorns (≥ 18 mm of diameter). During the sowing, acorns were measured for diameter and grouped into three classes of acorn size. Position of each acorn was recorded within the container and each container was labeled to facilitate the connection between the measurements of the acorn size and the subsequent measurements of the emerged seedlings. Subsample of 25 seedlings was removed from the experiment with fully developed leaves for detailed measurements of leaf area, and allocation patterns of dry biomass into three plant compartments: leaf, root, and stem. After the first growing season, height and root collar diameter were measured on all emerged seedlings.

Effect of acorn size and light regime on morphological features of one-year old seedlings of pedunculate oak were examined with the analysis of variance. Following morphological features of seedlings were tested: height (Figure 3A and Table 1) and root collar diameter (Figure 3B and Table 1) of the seedlings, leaf area (Figure 4A and Table 2) and specific leaf area (Figure 4B and Table 2) of the seedlings, dry weight (Figure 5A and Table 3) and ratio of aboveground:underground dry weight of the seedlings (Figure 5B and Table 3).

In seedlings grown in full sunlight increase in the acorn size resulted in the increase in average height and root collar diameters of the seedlings, average leaf area of the seedlings, and seedlings total dry weight. Specific leaf area was, on the other hand, smaller in seedlings from larger acorns. For the seedlings in the shade, light was the decisive factor influencing their morphological development, but still the seedlings from larger acorns were higher and had larger root collar diameters compared to the seedlings from smaller acorns.

According to the results obtained in this research, it is safe to say that there is enough space for the improvements in the nursery production of pedunculate oak seedlings by taking into account the size of the acorns. However, further detailed research efforts are needed to deduce final conclusions and recommendations for the practical nursery production.

Key words: pedunculate oak, acorn size, light, one-year-old seedlings, nursery production