

UTJECAJ NAVODNJAVANJA I MIKRORELJEFA U RASADNIKU NA MORFOLOŠKE ZNAČAJKE ŠUMSKIH SADNICA HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.) I KITNJAKA (*Quercus petraea* L.)

INFLUENCE OF IRRIGATION AND MICRO-RELIEF IN NURSERIES ON MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PEDUNCULATE (*Quercus robur* L.) AND SESSILE OAK (*Quercus petraea* L.) FOREST SEEDLINGS

Damir DRVODELIC¹, Milan ORŠANIĆ¹, Sanja PERIĆ², Martina TIJARDOVIĆ²

SAŽETAK:

Istraživali smo utjecaj navodnjavanja i mikroreljefa u rasadniku na morfološka svojstva dvogodišnjih (2+0) šumskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i kitnjaka (*Quercus petraea* L.). Pokusne plohe osnovane su u šumskom rasadniku Hajderovac, Šumarija Kutjevo, Uprava šuma Podružnica Požega. Sjetva žira hrasta kitnjaka obavljena je u razdoblju od 7–11. listopada 2005. godine, a hrasta lužnjaka 14. listopada 2005. godine. Za tretiranje sadnica hrasta lužnjaka uzeli smo navodnjavanje (1 – ne navodnjavane, 2 – navodnjavane), a sadnica hrasta kitnjaka mikroreljef (1 – na nagibu, 2 – na ravnom). Na kraju druge vegetacije na terenu s pokusnih ploha uzet je slučajni uzorak sadnica za morfološku analizu. Za morfološku analizu opranog korijenskog sustava sadnica korišten je skener Epson Expression 10000XL i softver WinRhizo Pro.V. 2005 uz pomoć kojega smo utvrdili pet najznačajnijih varijabli korijena: duljina (cm), oplošje (cm²), prosječan promjer (mm), volumen (cm³) i broj vrhova (kom). Kod sadnica hrasta lužnjaka utvrđena je razlika varijance veća od postavljene granice (p=0,05) za sljedeće varijable: duljina korijena (p=0,293703), oplošje korijena (p=0,21999), volumen korijena (p=0,281090) i broj vrhova korijena (p=0,829142). Mann Whitneyevim U-testom utvrđena je statistički značajna razlika u visini (p=0,000000), promjeru vrata korijena (p=0,000284) i prosječnom promjeru korijena (p=0,011632) između ne navodnjavanih (1) i navodnjavanih (2) sadnica hrasta lužnjaka. Prosječna visina navodnjavanih sadnica hrasta lužnjaka (2+0) bila je za 305 mm veća od nenavodnjavanih i iznosila je 578 mm (322–790 mm). Prosječni promjer vrata korijena navodnjavanih sadnica bio je također za 0,92 mm veći od nenavodnjavanih i iznosio je 6,91 mm (4,93–9,90 mm). Nenavodnjavane sadnice imale su u prosjeku za 0,12 mm veći prosječni promjer korijena za razliku od navodnjavanih. Navodnjavane sadnice hrasta lužnjaka također su imale prosječno veću ukupnu duljinu korijena (cm), oplošje korijena (cm²) i broj vrhova korijena (kom) u odnosu na one nenavodnjavane, ali navedene značajke nisu signifikantne. Kod sadnica hrasta kitnjaka utvrđena je razlika varijance veća od postavljene granice (p=0,05) za sljedeće varijable: visina (p =0,178360), promjer vrata korijena (p=0,077099) i duljina korijena

¹ doc. dr. sc. Damir Drvodelić, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, email: ddrvodelic@inet.hr

² Prof. dr. sc. Milan Oršanić, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

² Dr. sc. Sanja Perić, Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

¹ Martina Tijardović, dipl.ing.šum., Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko

($p = 0,148820$). Mann Whitneyevim U-testom utvrđena je statistički značajna razlika između sadnica hrasta kitnjaka na nagibu (1) i ravnom terenu (2) za sve četiri testirane varijable (oplošje korijena ($p = 0,000010$), prosječan promjer korijena ($p = 0,025060$), volumen korijena ($p = 0,000037$) i broj vrhova korijena ($p = 0,000427$)). Prosječno oplošje korijena sadnica hrasta kitnjaka na nagibu bilo je za $85,39 \text{ cm}^2$ veće u odnosu na sadnice na ravnom i iznosilo je $271,97 \text{ cm}^2$ ($58,57\text{--}633,94 \text{ cm}^2$). Prosječan promjer korijena sadnica hrasta kitnjaka na nagibu bio je u prosjeku za $0,10 \text{ mm}$ veći u odnosu na sadnice na ravnom terenu i iznosio je $1,60 \text{ mm}$ ($1,17\text{--}2,10 \text{ mm}$). Volumen korijena sadnica na nagibu bio je za $3,88 \text{ cm}^3$ veći u odnosu na sadnice na ravnom terenu i iznosio je $10,99 \text{ cm}^3$ ($2,40\text{--}27,21 \text{ cm}^3$). Broj vrhova korijena sadnica na nagibu bio je također za 226 komada veći od sadnica na ravnom i iznosio je 818 kom (111–2551 kom). Sadnice hrasta kitnjaka na nagibu imale su u prosjeku veću visinu (mm), promjer vrata korijena (mm) i ukupnu duljinu korijena (cm) u odnosu na sadnice na ravnom terenu, ali navedene značajke nisu signifikantne. Ova istraživanja dokazuju kako je navodnjavanje sadnica hrasta lužnjaka u rasadniku utjecalo na povećanje određenih kvalitativnih varijabli (visina, promjer vrata korijena). S druge strane, sadnice hrasta kitnjaka pokazuju povećanje određenih kvalitativnih varijabli korijena (oplošje, prosječan promjer, volumen, broj vrhova) kod uzgoja na nagibu, što se treba i koristiti u svim rasadnicima s razvedenim mikroreljefom.

KLJUČNE RIJEČI: kvaliteta sadnica, duljina korijena, oplošje korijena, promjer vrata korijena, volumen korijena, broj vrhova korijena

Uvod Introduction

Rasadničarstvo i sjemenarstvo imaju značajnu ulogu u osiguravanju potrajnosti gospodarenja prirodnim šumama (Colombo 2001). Sukladno velikoj vrijednosti šuma i šumskog zemljišta u Hrvatskoj, šumsko sjemenarstvo i rasadničarstvo važna su sastavnica gospodarenja šumama u Hrvatskoj. Značenje šumskog sjemenarstva i rasadničarstva raste s porastom problema s kojima se susreću šumari prilikom prirodne obnove sastojina. Posebni problemi primijećeni su tijekom prirodne obnove sastojina hrasta lužnjaka, ali nisu zanemarivi niti oni novijeg datuma, kada je u pitanju prirodna obnova sastojina hrasta kitnjaka. Mnogobrojni su uzroci narušene strukture sastojina i promjena u periodicitetu plodonošenja ovih značajnih klimatogenih vrsta. Puni urodi sjemena sve su rjeđi, a kvaliteta sjemena često loša. Iz navedenih razloga rasadnička proizvodnja šumskih sadnica hrasta lužnjaka i kitnjaka svakim danom ima sve veće značenje.

Kvaliteta šumskih sadnica koje se isporučuju iz rasadnika, između ostalog, rezultat je uzgojnih mjera (Tsakalidimi i dr. 2005, Duryea 1985). Osim uspjeha sadnica nakon presadnje, dobra kvaliteta sadnica osigurava i njihovo manje oštećenje tijekom transporta, skladištenja i rukovanja. Pojedini element kvalitete sadnica sam za sebe nije dovoljan za određivanje ukupne kvalitete koju čini genetsko porijeklo i njezino fizičko stanje (morfološke i fiziološke značajke). Kvaliteta sadnog materijala predstavlja kombinaciju visine, promjera vrata korijena, stanja ishrane, zdravstvenog stanja, veličine i oblika korijena sadnica. Ove karakteristike sadnog materijala, uz stanišne uvjete, utječu na preživljenje i

uspjeh nakon sadnje. Stoga je za uspjeh nakon presadnje na teren ključno uskladiti stanišne uvjete sa morfološkim i fiziološkim značajkama sadnica (Colombo 2001, Jaenicke 1999, Davis i dr. 2005, Mattson 1996). Ukoliko se za procjenu kvalitete sadnica uzme samo jedna karakteristika (najčešće samo visina sadnica), kvaliteta neće biti dobro procijenjena i uspjeh će izostati. Poznato je kako morfološki elementi kvalitete sadnica, poput visine i promjera vrata korijena, ne koreliraju u svim slučajevima s uspjehom nakon presadnje na teren (Davis i dr. 2005, Jacobs i dr. 2005). Mnogobrojna istraživanja potvrđuju ove tvrdnje (Campo i dr. 2009, Haase 2007, Hall 2003, McDonald 1984).

Davis i Jacobs (2005) pišu kako je volumen korijena sadnica kao metoda procjene veličine korijenskog sustava postao popularan sredinom 80-ih godina prošloga stoljeća. U početku se volumen korijena procjenjivao ne destruktivnom metodom potapanja u vodi (Burdet 1979), dok danas postoje puno brže metode. Rezultati nekih istraživanja (Rose i dr. 1991a, 1991b, 1992, 1997; Jacobs i dr. 2005) ističu pozitivnu ovisnost volumena korijena sadnica i preživljenja i/ili rasta nakon presadnje. Mjerenje duljine i površine korijena omogućuje nam bolji kvantitativni opis korijenskog sustava sadnica. Kao i kod volumena korijena, rezultati brojnih istraživanja ukazuju na pozitivnu ovisnost ovih varijabli s preživljenjem i rastom sadnica nakon sadnje na terenu.

U svrhu postizanja dobrih rezultata, potrebno je uskladiti kvalitetu šumskog reprodukcijanskog materijala sa specifičnim uvjetima koji vladaju na pojedinom staništu. Morfološke značajke sadnica mogu poslužiti i za utvrđivanje uspješnosti određenih metoda uzgoja u pojedinom rasadniku. Nove tehnologije poput WinRhizo Pro.V. sustava

omogućuju bolje poznavanje morfoloških značajki korijen-skog sustava šumskih sadnica. Utjecaj navodnjavanja i mikroreljeva u rasadniku na morfološke značajke šumskih sadnica hrasta lužnjaka i kitnjaka je slabo istražen. Učinak navodnjavanja do sada se uglavnom istraživao kroz mjerenje i utvrđivanje osnovnih elemenata kvalitete sadnica poput visine, promjera vrata korijena i preživljenja (Bendaravičius i Grybauskienė 2005, Day 1984), dok se potpunija slika može dobiti isključivo detaljnom analizom nadzemnog i podzemnog dijela sadnica.

Područje istraživanja

Research area

Pokusne plohe osnovane su u šumskom rasadniku Hajderovac, Šumarija Kutjevo, Uprava šuma Podružnica Požega. Rasadnik Hajderovac podignut je 1948. godine kao jedan u nizu osnovanih priručnih rasadnika za proizvodnju četinjača. Danas rasadnik ima površinu od 22,67 ha, od čega je produktivno 13,35 ha. Površina rasadnika podijeljena je na 19 parcela koje su precizno izmjerene i kartirane te svaka ima svoj broj i iskaz površine. Šumska proizvodnja obavlja se na 15 parcela ukupne površine od 11,31 ha, a ukrasna dendroflora na 4 parcele ukupne površine od 2,04 ha. Na ostaloj površini od 9,32 ha nalaze se zgrade, plastenik, staklenik, hladnjača, ceste, putovi, potoci, akumulacije vode i matičnjaci ukrasne dendroflora. Rasadnik je smješten u blagaj uvali jugoistočne ekspozicije na oko 200 m nadmorske visine. Prema klimatskim pokazateljima nalazi se u zoni srednjoeuropske humidne klime, sa srednjom godišnjom temperaturom zraka od 10,4°C i sa prosječnom godišnjom količinom oborina od 773 mm, koje su ravnomjerno raspoređene kroz sva četiri godišnja doba. Rasadnik je podignut na tipičnom mrazištu, zbog čega su osobito česti kasni proljetni i rani jesenski mrazevi. Rezultati kontinuiranih istraživanja uzoraka tla ukazuju na manjak humusa i povećanu kiselost koja je nepovoljna za uzgoj sadnica vrsta roda *Quercus* L. ph tla (H₂O) kreće se od 4,9–7,3, sadržaj humusa (%) od 1,08–2,59 % a C/N odnos od 7,00–11,62. Unazad nekoliko godina u rasadniku se sustavno provode brojne agrotehničke mjere (riperanje, kalcifikacija, gnojidba stajnjakom, sideracija) s ciljem značajnijeg smanjenja onih čimbenika koji nepovoljno utječu na rast i razvoj sadnica vrsta roda *Quercus* L.. U dijelu rasadnika projektiran je sustav navodnjavanja kišenjem, koji se sastoji se od 4 akumulacije i mreže hidranata. Kapacitet akumulacije od 7000 m³ povezan je sa 3 hidrostatske mreže na udaljenosti od 500 m. Sustav pokriva 0,8 ha ili 7 % od ukupne produktivne površine rasadnika. Akumulacije se pune sustavom kanala preko preljevnice iz potoka Hajderovac koji izvire u obližnjoj šumi, dok se jedna akumulacija puni vlastitim izvorom. Sustav navodnjavanja sastoji se od aluminijskih cijevi promjera 110 mm i duljine 6 m. Na svakom spoju montirani su kružni rasprskivači dometa od 6 m. Pumpu pogoni

traktorski dizel motor s mogućnosti protoka od 1000 litara u minuti (najčešće oko 550 l/min.). Proizvodne površine navodnjavaju se 30 minuta, na što se utroši 16500 litara vode ili približno 2 l/m². Godišnja potrošnja vode u rasadniku Hajderovac iznosi 3000 m³, uz napomenu kako se navodnjavaju samo sadnice u prvoj vegetaciji u razdoblju od travnja do srpnja. Proizvodne površine u rasadniku karakteristične su po vrlo razvedenom mikroreljevu (nagibi i platoi), što je iskorišteno u pokusu sa sadnicama hrasta kitnjaka.

Materijali i metode rada

Materials and methods

Sjetva žira hrasta kitnjaka poznatog porijekla (sjemenska sastojina "Čaglin«) obavljena je u razdoblju od 7–11. listopada 2005. godine. Sjetva žira hrasta lužnjaka poznatog porijekla (sjemenska sastojina "Eminovci-Poljadske šume«) obavljena je 14. listopada 2005. godine. Sjeme obaju vrsta hrastova posijano je u redove uz pomoć sijačice marke "Egedal«. Planirani sklop biljaka iznosio je od 70–90 komada/m². Tijekom prve vegetacije uzgoja na gredicama, obavljani su sljedeći radovi njege: kultiviranje, prihranjivanje tvorničkim gnojivima, navodnjavanje, zaštita od korova (mehanička i kemijska), zaštita od hrastove pepelnice. Početkom mjeseca ožujka, prije početka druge vegetacije, obavljeno je podrezivanje korijenskog sustava sadnica na dubinu od 12–15 cm. Podrezivanje je obavljeno horizontalno-vertikalnim plugom za podrezivanje korijena marke "Egedal«. Tijekom druge vegetacije uzgoja, od radova njege, obavljeno je kultiviranje i prihranjivanje. Kao tretiranje u slučaju sadnica hrasta lužnjaka uzeli smo navodnjavanje (1 – ne navodnjavane, 2 – navodnjavane), a u slučaju sadnica hrasta kitnjaka mikroreljef (1 – na nagibu, 2 – na ravnom). S navodnjavanjem sadnica hrasta lužnjaka počelo se 13. travnja, a završilo 10. srpnja 2006. godine. Navodnjavanje je obavljano u intervalima od 15–20 dana, s izuzetkom kišnog razdoblja krajem travnja i početkom svibnja. Tijekom druge vegetacije sadnice nisu navodnjavane. Što se tiče sadnica hrasta kitnjaka, jedna ploha osnovana je na nagibu, a druga na ravnom terenu na istom proizvodnom polju. Sadnice hrasta lužnjaka i kitnjaka (2+0) za morfološke analize izvađene su 12. studenog 2007. godine. Za analize je uzet slučajni uzorak od 100 sadnica hrasta lužnjaka i 100 sadnica hrasta kitnjaka, od čega 50 sadnica hrasta lužnjaka s navodnjavane i 50 sadnica s navodnjavane površine, odnosno 50 sadnica hrasta kitnjaka na nagibu i 50 sadnica na ravnom položaju. Visine sadnica mjerene su do baze vršnog pupa uz pomoć mjerne letve s točnošću na 1 mm, dok je promjer vrata korijena mjereno s digitalnim pomičnim mjernikom (točnost 0,01 mm). Pomoću skenera Epson Expression 10000XL i softvera WinRhizo Pro.V. (2005) za analizu opranog korijena, utvrdile su se sljedeće varijable korijena: duljina (cm), oplošje (cm²), prosječan promjer (mm), vo-

lumen (cm³) i broj vrhova (kom). Za sve analizirane varijable napravljena je deskriptivna statistika. Uz uvjet homogenosti varijance, izmjerene varijable testirane su odvojeno za hrast kitnjak i hrast lužnjak Studentovim T-testom. U slučaju kada uvjet homogenosti varijance nije bio zadovoljen, korišten je Mann Whitneyev U-test. Za sve testove razinu značajnosti od 5 % smatrali smo statistički značajnom. Za obradu podataka korišteni su paketi Microsoft Office Exel 2007 i STATISTICA 7.1 (StatSoft, Inc. 2007).

Rezultati istraživanja

Research results

Utjecaj navodnjavanja na morfološke značajke sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) – Influence of irrigation on morphological characteristics of pedunculate oak seedlings (*Quercus robur* L.)

U tablici 1. prikazani su podaci deskriptivne statistike za značajnije morfološke parametre nenavodnjavanih i navodnjavanih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0.

Prosječna visina sadnica hrasta lužnjaka u dobi 2+0 koje nisu navodnjavanje iznosila je 273 mm (145–495 mm), za razliku od prosječnih visina navodnjavanih sadnica koje su iznosile 578 mm (322–790 mm). Prosječni promjer vrata korijena nenavodnjavanih sadnica iznosio je 5,99 mm (4,01–8,52 mm), a navodnjavanih 6,91 mm (4,93–9,90 mm). Prosječna ukupna duljina korijena nenavodnjavanih sadnica iznosila je 407,16 cm (145,92–821,51 cm), a navodnjavanih 456,75 cm (86,43–915,73 cm). Oplošje korijena kod nenavodnjavanih sadnica iznosilo je 174,27 cm² (84,01–329,61 cm²), odnosno kod navodnjavanih 181,76 cm² (50,41–362,90 cm²). Prosječan promjer korijena nenavodnjavanih sadnica bio je 1,42 mm (1,06–2,06 mm), a onih navodnjavanih 1,30 mm (1,02–1,86 mm). Volumen korijena u slučaju nenavodnjavanih sadnica iznosio je 6,08 cm³ (3,20–13,28 cm³), odnosno kod navodnjavanih 5,84 cm³ (2,34–11,89 cm³). Broj vrhova korijena kod nenavodnjavanih sadnica iznosio je 764 kom (234–1515 kom), a kod navodnjavanih 811 kom (143–1479 kom). T-testom (tablica 2) uspoređivane su dvije grupe sadnica po 50 uzoraka (1 – nenavodnjavane, 2 – navodnjavane). Za sve testove razine

Tablica 1. Deskriptivna statistika analiziranih morfoloških varijabli nenavodnjavanih i navodnjavanih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0.
Table 1. Descriptive statistics of the analyzed morphological variables of non-irrigated and irrigated seedlings of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) aged 2+0

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std.Dev.		
Visina (mm) Height (mm)	Ne navodnjavane Non-irrigated	50	273	271	145	495	4027	63		
Pomjer vrata korijena (mm) Root collar diameter (mm)			5,99	6,05	4,01	8,52	0,93	0,96		
Duljina korijena (cm) Root length (cm)			407,16	380,53	145,92	821,51	24861,80	157,68		
Oplošje korijena (cm ²) Root perimeter (cm ²)			174,27	168,12	84,01	329,61	3152,58	56,15		
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)			1,42	1,37	1,06	2,06	0,06	0,25		
Volumen korijena (cm ³) Root volume (cm ³)			6,08	6,03	3,20	13,28	3,66	1,91		
Broj vrhova korijena (kom) Number of root tips (pcs)			764	721	234	1515	88945	298		
Visina (mm) Height (mm)			Navodnjavane Irrigated	50	578	595	322	790	13337	115
Pomjer vrata korijena (mm) Root collar diameter (mm)					6,91	6,95	4,93	9,90	1,63	1,28
Duljina korijena (cm) Root length (cm)					456,75	415,68	86,43	915,73	33630,90	183,39
Oplošje korijena (cm ²) Root perimeter (cm ²)	181,76	164,79			50,41	362,90	4487,77	66,99		
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)	1,30	1,25			1,02	1,86	0,03	0,17		
Volumen korijena (cm ³) Root volume (cm ³)	5,84	5,33			2,34	11,89	5,00	2,24		
Broj vrhova korijena (kom) Number of root tips (pcs)			811	824	143	1479	94633	308		

Tablica 2. Rezultati t-testa za analizirane morfološke varijable nenavodnjavanih (1) i navodnjavanih (2) sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0.

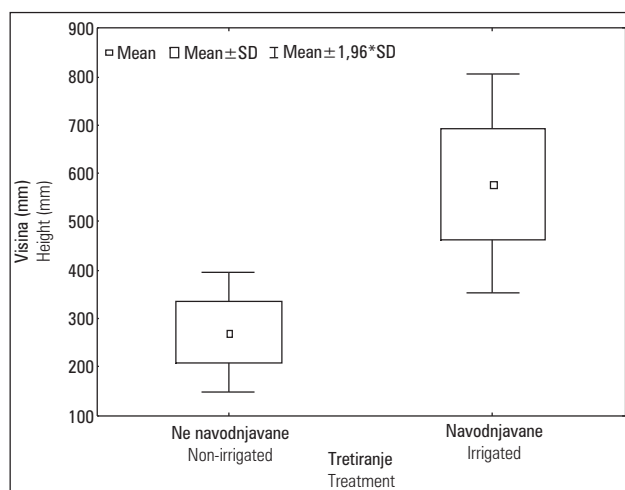
Table 2. Results of the t-test for the analyzed morphological variables of non-irrigated (1) and irrigated (2) pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings aged 2+0

Varijabla Variable	Mean 1	Mean 2	t-value	df	p	N 1	N 2	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
Visina (mm) Height (mm)	273	578	-16,3870		0,000000			63,4588	115,4862	3,311895	0,000050
Pomjer vrata korijena (mm) Root collar diameter (mm)	5,99	6,91	-4,0500		0,000103			0,9643	1,2777	1,755628	0,051508
Duljina korijena (cm) Root length (cm)	407,16	456,75	-1,4501		0,150220			157,6763	183,3873	1,352714	0,293703
Oplošje korijena (cm ²) Root perimeter (cm ²)	174,27	181,76	-0,6058	98	0,546043	50	50	56,1478	66,9909	1,423525	0,219999
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)	1,42	1,30	2,9104		0,004468			0,2496	0,1698	2,161179	0,008011
Volumen korijena (cm ³) Root volume (cm ³)	6,08	5,84	0,5789		0,563962			1,9143	2,2354	1,363636	0,281090
Broj vrhova korijena (kom) Number of root tips (pcs)	764	811	-0,7674		0,444683			298,2373	307,6241	1,063939	0,829142

značajnosti od 5 % smatrali smo statistički značajnim. Za varijable: duljina korijena ($p=0,293703$), oplošje korijena ($p=0,21999$), volumen korijena ($p=0,281090$) i broj vrhova korijena ($p=0,829142$), utvrđena je razlika varijance veća od postavljene granice ($p=0,05$).

Za varijable: visina ($p=0,000050$), promjer vrata korijena ($p=0,051508$) i prosječan promjer korijena ($p=0,008011$), t-testom nije zadovoljen uvjet homogenosti varijance, pa je korišten Mann Whitneyev U-test (tablica 3).

Mann Whitneyevim U-testom utvrđena je statistički značajna razlika u visini ($p=0,000000$), promjeru vrata korijena ($p=0,000284$) i prosječnom promjeru korijena ($p=0,011632$) između nenavodnjavanih (1) i navodnjavanih (2) sadnica hrasta lužnjaka. Na slikama od 1–3. prikazane su značajnije morfološke varijable sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0, koje su se statistički značajno razlikovale s obzirom na navodnjavanje u rasadniku.



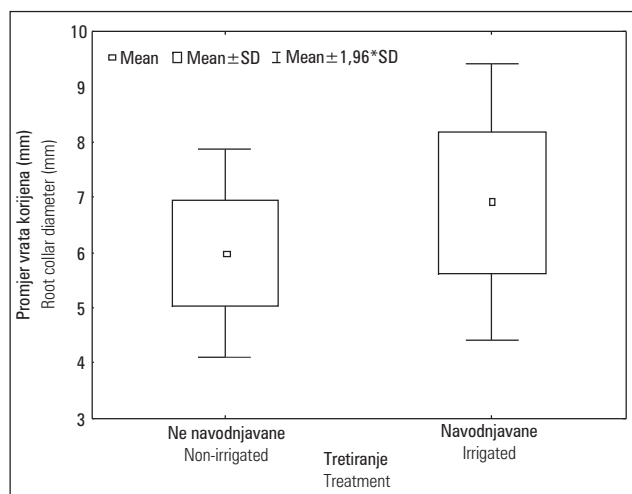
Slika 1. Visine sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0 s nenavodnjavane i navodnjavane proizvodne površine u rasadniku.

Figure 1. Heights of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings aged 2+0 from the non-irrigated and the irrigated nursery production plots

Tablica 3. Mann Whitneyev U-test za analizirane morfološke varijable nenavodnjavanih (1) i navodnjavanih (2) sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0.

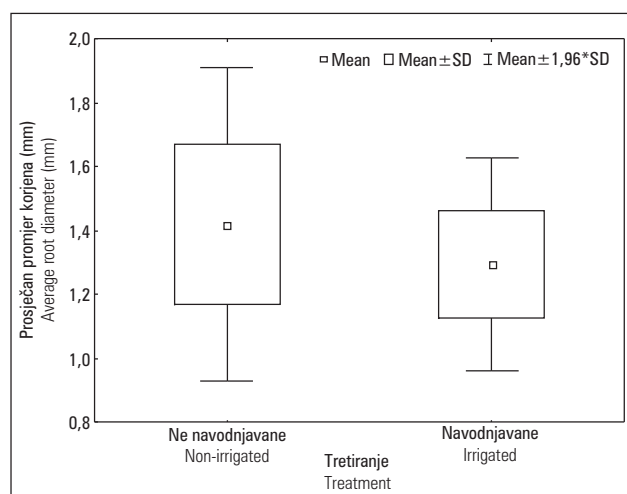
Table 3. Mann Whitney's U-test for the analyzed morphological variables of non-irrigated (1) and irrigated (2) seedlings of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) aged 2+0.

Varijabla Variable	Rank Sum 1	Rank Sum 2	U	Z	p-level	Z	p-level	2*1sided
Visina (mm) Height (mm)	1300,000	3750,000	25,000	-8,44493	0,000000	-8,44526	0,000000	0,000000
Pomjer vrata korijena (mm) Root collar diameter (mm)	1998,500	3051,500	723,500	-3,62960	0,000284	-3,62973	0,000284	0,000224
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)	2891,000	2159,000	884,000	2,52314	0,011632	2,52315	0,011632	0,011313



Slika 2. Promjer vrata korijena sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0 s nenavodnjavane i navodnjavane proizvodne površine u rasadniku

Figure 2. Root collar diameter of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings aged 2+0 from the non-irrigated and irrigated nursery production plots



Slika 3. Prosječan promjer korijena sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0 s nenavodnjavane i navodnjavane proizvodne površine u rasadniku

Figure 3. Average root diameter of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings aged 2+0 from the non-irrigated and irrigated nursery production plots

Sadnice hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u dobi 2+0 s navodnjavane proizvodne površine u rasadniku imale su prosječno veću ukupnu duljinu korijena (cm), oplošje korijena

(cm²) i broj vrhova korijena (kom) u odnosu na sadnice s proizvodne površine koja nije navodnjavana, ali navedene značajke nisu signifikantne.

Tablica 4. Deskriptivna statistika analiziranih morfoloških varijabli sadnica hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0, uzgajanih na nagibu i na ravnom terenu.

Table 4. Descriptive statistics of the analyzed morphological variables of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea* L.) aged 2+0 grown on slopes and on flat terrain

Varijabla Variable	Tretiranje Treatment	N	Mean	Median	Min.	Max.	Var.	Std.Dev.
Visina (mm) Height (mm)			444	455	165	632	11444	107
Pomjer vrata korijena (mm) Root collar diameter (mm)			8,58	8,56	5,22	14,51	3,93	1,98
Duljina korijena (cm) Root length (cm)			547,93	535,91	113,84	1248,63	49530,99	222,56
Oplošje korijena (cm ²) Root perimeter (cm ²)	Na nagibu On slope	50	271,97	271,16	58,57	633,94	12650,57	112,47
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)			1,60	1,59	1,17	2,10	0,06	0,24
Volumen korijena (cm ³) Root volume (cm ³)			10,99	10,54	2,40	27,21	27,65	5,26
Broj vrhova korijena (kom) Number of root tips (pcs)			818	772	111	2551	168399	410
Visina (mm) Height (mm)			366	360	175	610	7766	88
Pomjer vrata korijena (mm) Root collar diameter (mm)			6,52	6,07	4,07	10,00	2,36	1,54
Duljina korijena (cm) Root length (cm)			404,81	361,04	154,85	1235,39	32672,09	180,75
Oplošje korijena (cm ²) Root perimeter (cm ²)	Na ravnom On flat terrain	50	186,38	162,32	80,81	500,89	6297,24	79,36
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)			1,50	1,42	0,94	2,35	0,11	0,33
Volumen korijena (cm ³) Root volume (cm ³)			7,11	6,08	2,49	16,16	12,67	3,56
Broj vrhova korijena (kom) Number of root tips (pcs)			592	558	215	1969	87062	295

Utjecaj mikoreljefa na morfološke značajke sadnica hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) – Influence of micro-relief on morphological characteristics of sessile oak (*Quercus petraea* L.) seedlings

U tablici 4. prikazani su podaci deskriptivne statistike za značajnije morfološke parametre sadnica hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0, uzgajanih na nagibu i na ravnom terenu.

Prosječna visina sadnica hrasta kitnjaka u dobi 2+0 na nagibu iznosila je 444 mm (165–632 mm), za razliku od prosječnih visina sadnica na ravnom terenu koje su iznosile 366 mm (175–610 mm). Prosječni promjer vrata korijena sadnica na nagibu iznosio je 8,58 mm (5,22–14,51 mm), a onih na ravnom 6,52 mm (4,07–10,00 mm). Prosječna ukupna duljina korijena sadnica na nagibu iznosila je 547,93 cm (113,84–1248,63 cm), a sadnica na ravnom 404,81 cm (154,85–1235,39 cm). Oplošje korijena kod sadnica na nagibu iznosilo je 271,97 cm² (58,57–633,94 cm²), odnosno

kod sadnica na ravnom terenu 186,38 cm² (80,81–500,89 cm²). Prosječan promjer korijena sadnica na nagibu bio je 1,60 mm (1,17–2,10 mm), a onih na ravnom 1,50 mm (0,94–2,35 mm). Volumen korijena u slučaju sadnica na nagibu iznosio je 10,99 cm³ (2,40–27,21 cm³), odnosno kod sadnica na ravnom 7,11 cm³ (2,49–16,16 cm³). Broj vrhova korijena kod sadnica na nagibu iznosio je 818 kom (111–2551 kom), a onih na ravnom 592 kom (215–1969 kom). T-testom (tablica 5) uspoređivane su dvije grupe sadnica po 50 uzoraka (1 – na nagibu, 2 – na ravnom). Za sve testove razinu značajnosti od 5 % smatrali smo statistički značajnim. Za varijable: visina ($p=0,178360$), promjer vrata korijena ($p=0,077099$) i duljina korijena ($p=0,148820$), utvrđena je razlika varijance veća od postavljene granice ($p=0,05$).

Za varijable: oplošje korijena ($p=0,0161609$), prosječan promjer korijena ($p=0,041961$), volumen korijena ($p=0,007279$) i broj vrhova korijena ($p=0,022785$), t-testom nije zadovo-

Tablica 5. Rezultati t-testa za analizirane morfološke varijable sadnica hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0 uzgajanih na nagibu (1) i na ravnom terenu (2).

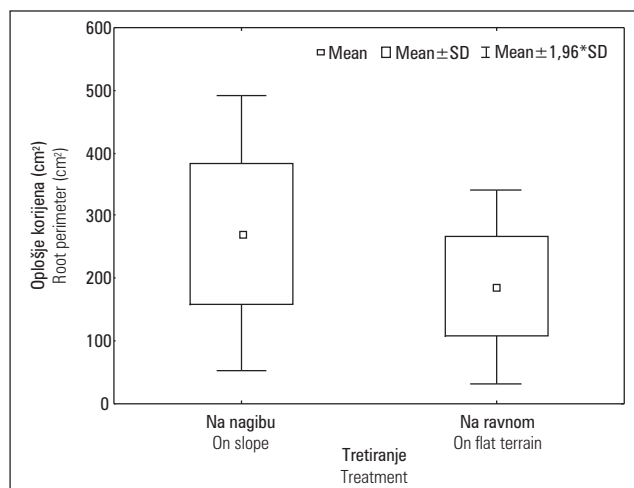
Table 5. Results of the t-test for the analyzed morphological variables of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea* L.) aged 2+0 grown on slopes (1) and on flat terrain (2).

Varijable Variable	Mean 1	Mean 2	t-value	df	p	N 1	N 2	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio	p
Visina (mm) Height (mm)	444	366	3,991674		0,000127			106,9749	88,1246	1,473565	0,178360
Promjer vrata korijena (mm) Root collar diameter (mm)	8,58	6,52	5,795923		0,000000			1,9821	1,5357	1,665919	0,077099
Duljina korijena (cm) Root length (cm)	547,93	404,81	3,529805		0,000635			222,5556	180,7542	1,516003	0,148820
Oplošje korijena (cm ²) Root perimeter (cm ²)	271,97	186,38	4,397058	98	0,000028	50	50	112,4747	79,3552	2,008905	0,016160
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)	1,60	1,50	1,698147		0,092653			0,2439	0,3273	1,800790	0,041961
Volumen korijena (cm ³) Root volume (cm ³)	10,99	7,11	4,320018		0,000037			5,2582	3,5597	2,181992	0,007279
Broj vrhova korijena (kom) Number of root tips (pcs)	818	592	3,158419		0,002109			410,3643	295,0628	1,934239	0,022785

Tablica 6. Mann Whitneyev U-test za analizirane morfološke varijable sadnica hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0 uzgajanih na nagibu (1) i na ravnom terenu (2).

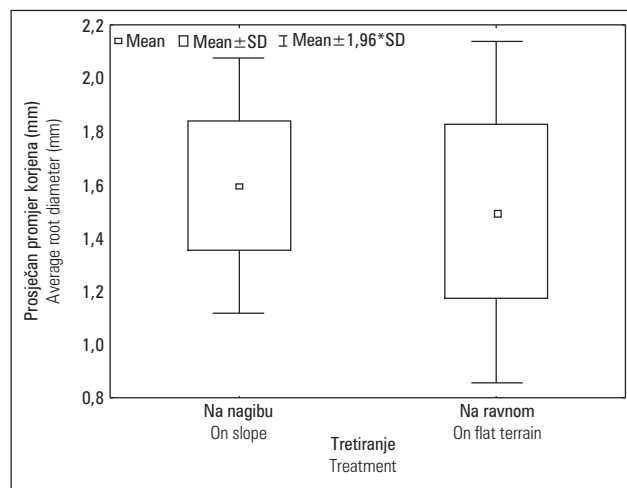
Table 6. Mann Whitney's U-test for the analyzed morphological variables of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea* L.) aged 2+0 grown on slope (1) and on flat terrain (2).

Varijable Variable	Rank Sum 1	Rank Sum 2	U	Z	p-level	Z	p-level	2*1sided
Oplošje korijena (cm ²) Root perimeter (cm ²)	3166,000	1884,000	609,0000	4,418939	0,000010	4,418939	0,000010	0,000006
Promjer korijena (mm) Root diameter (mm)	2850,000	2200,000	925,0000	2,240491	0,025060	2,240491	0,025060	0,024833
Volumen korijena (cm ³) Root volume (cm ³)	3123,000	1927,000	652,0000	4,122504	0,000037	4,122504	0,000037	0,000025
Broj vrhova korijena (kom) Number of root tips (pcs)	3036,000	2014,000	739,0000	3,522742	0,000427	3,522774	0,000427	0,000353



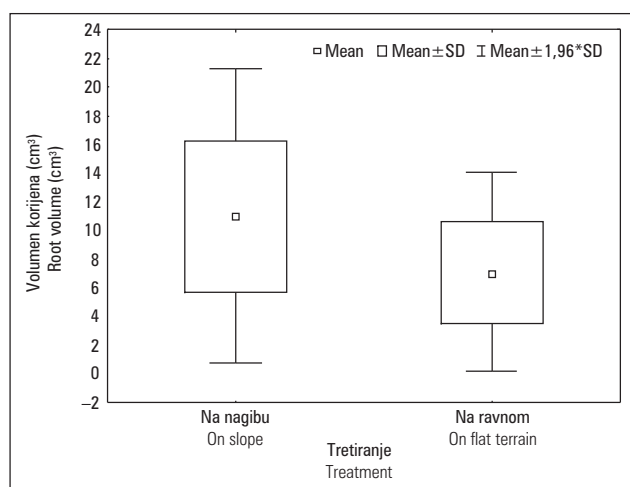
Slika 4. Oplošje korijena sadnica hrasta hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0 uzgajanih na nagibu i na ravnom terenu.

Figure 4. Root perimeter of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea* L.) aged 2+0 grown on slope and on flat terrain.



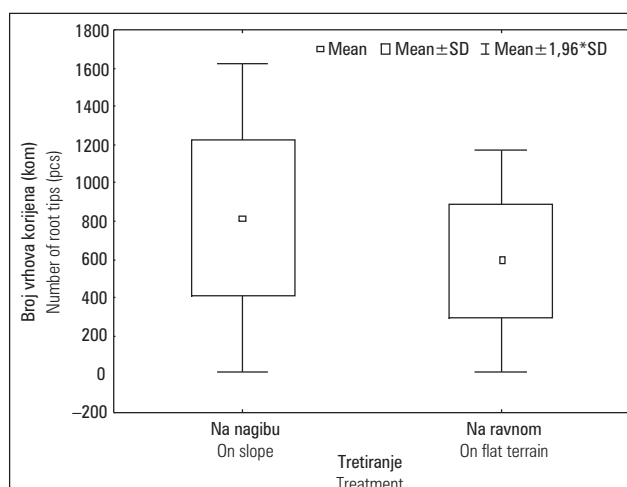
Slika 5. Prosječan promjer korijena sadnica hrasta hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0 uzgajanih na nagibu i na ravnom terenu.

Figure 5. Average root diameter of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea* L.) aged 2+0 grown on slope and on flat terrain.



Slika 6. Volumen korijena sadnica hrasta hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0 uzgajanih na nagibu i na ravnom terenu.

Figure 6. Root volume of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea* L.) aged 2+0 grown on slope and on flat terrain.



Slika 7. Broj vrhova korijena sadnica hrasta hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0 uzgajanih na nagibu (1) i na ravnom terenu (2).

Figure 7. Number of root tips of the seedlings of sessile oak (*Quercus petraea* L.) aged 2+0 grown on slope and on flat terrain.

ljen uvjet homogenosti varijance, pa je korišten Mann Whitneyev U-test (tablica 6).

Mann Whitneyevim U-testom utvrđena je statistički značajna razlika između sadnica hrasta kitnjaka na nagibu (1) i ravnom terenu (2) za sve testirane varijable. Na slikama od 4–7. prikazane su značajnije morfološke varijable korijenskog sustava sadnica hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0, koje su se statistički značajno razlikovale s obzirom na mikoreljerne uvjete u rasadniku.

Sadnice hrasta kitnjaka (*Quercus petraea* L.) u dobi 2+0 uzgajane na nagibu imale su prosječno veću visinu (mm), promjer vrata korijena (mm) i ukupnu duljinu korijena (cm) u odnosu na sadnice na ravnom terenu, ali navedene značajke nisu signifikantne.

Rasprava Discussion

Prema Keats (2003), svaki šumski rasadnik trebao bi imati osigurano kontinuirano navodnjavanje tijekom cijele godine. Budući da je potreba za vodom najveća tijekom ljetnih mjeseci, potrebno je imati na raspolaganju dovoljnu količinu vode za proizvodnju određene količine sadnica. Morby (1984) piše kako je voda iz bunara vjerojatno jedan od najboljih izvora voda za većinu rasadnika. Bez obzira na izvor vode, u rasadniku je poželjna akumulacija vode potrebna za barem 3 dana. Potrebna količina vode u rasadniku ovisi o njegovoj površini, tipu tla, uzgajanoj vrsti i količini sadnica te načinu navodnjavanja. Veća količina vode potrebna je u pjeskovitim tlima koja imaju slab kapacitet za vodu.

Prema procjeni, šumski rasadnik proizvodne površine od 1 ha s projektiranim nadzemnim navodnjavanjem treba prosječno oko 60 000 l vode/dan tijekom ljetnih mjeseci, što bi značilo da treba osigurati približno 2,4 l vode u sekundi tijekom 7 sati navodnjavanja. Osim količine vode za navodnjavanje, jednako je važna i njezina kvaliteta. Potrebno je povremeno kontrolirati pH vrijednost vode koja bi se trebala kretati u granicama od 5,5–7,0. Kod pH vrijednosti vode veće od 7,0 povoljniji su uvjeti za razvoj gljiva uzročnika polijeganja ponika u sjemeništu rasadnika. Također veće vrijednosti pH tla mogu smanjiti rast sadnica zbog reducirane dostupnosti određenih hranjiva za biljku (željezo, cink, magnezij i dr.).

Prema McDonald (1984), glavni cilj navodnjavanja je umjetno dodavanje vode biljkama, kako bi se izbjegao neželjeni vodni stres. Vodni stres događa se kad je stupanj transpiracije (gubitak vode iz biljaka) veći od stupnja apsorpcije. Kod biljaka u vodnom stresu biljne stanice i tkiva nisu u stanju potpunog turgora. Lavender (1984) piše kako dostupnost vode biljci, slično kao i svjetla, utječe na njezin rast i razvoj. Prema Zahneru (1968), stupanj fotosinteze, kao jedan od glavnih čimbenika koji utječe na ukupni rast biljaka, može se značajno smanjiti zbog relativno slabog vodnog deficita tla (–1 to –3 bars), dok Zaerr (1983) piše kako isti može biti smanjen u uvjetima kada je tlo zasićeno vodom (anaerobni uvjeti). Pretjerana vlaga tla potiče razvoj patogenih gljiva iz rodova *Phytophthora*, *Pythium*, i *Fusarium* (Filer i Peterson 1975). Na morfološki razvoj korijenskog sustava primarni utjecaj imaju stanišni uvjeti, te je stoga vrlo teško utvrditi utjecaj oblika korijenskog sustava sadnica na zakorjenjivanje nakon sadnje (Bedford i dr. 1996, McMinn, R. G. 1978). Prema Nicotra i dr. (2002), korijenski sustav biljaka u područjima s malom količinom padalina karakterizira veća specifična duljina glavnog korijena i manja ukupna duljina korijena.

Rast i prirast korijenskog sustava biljaka s lokaliteta gdje su veće količine padalina je bolji u odnosu na područja s malom količinom padalina. Analogno tomu, kod prve skupine biljaka za očekivati je i bolji prirast izbojaka. Bolji rast i prirast korijena biljaka u uvjetima veće količine padalina povezana je s većim brojem vrhova korijena, ali ne s rastom pojedinog korjenovog vrha.

Prema Royo i dr. (2001), najznačajniji utjecaj navodnjavanja sadnica alepskog bora u rasadniku očitovao se na njegovoj morfološkoj. Povećano navodnjavanje u rasadniku dovelo je do značajnog povećanja visine sadnica, promjera vrata korijena te biomase nadzemnog i podzemnog dijela biljke. Osim toga, kod sadnica koje su jače navodnjavane povećala se koncentracija škroba i topivih ugljikohidrata. U navedenom istraživanju nije dobiveno bolje preživljenje sadnica različitih režima navodnjavanja nakon proljetne sadnje. Preživljenje sadnica bilo je snažno povezano s pro-

ljetnim kišama. Dobivene su male razlike u apsolutnim i relativnim vrijednostima visinskog rasta sadnica različitih tretmana.

Rezultati naših istraživanja podudaraju se s istraživanjima od Nicotra i dr. (2002) te Royo i dr. (2001). Sadnice hrasta lužnjaka s navodnjavane proizvodne površine imale su u prosjeku 49,59 cm veću ukupnu duljinu korijena, te 305 mm veću visinu u odnosu na sadnice koje nisu navodnjavane. Prosječan broj vrhova korijena kod navodnjavanih sadnica bio je za 47 komada veći u odnosu na sadnice koje nisu navodnjavane, što je pozitivno utjecalo na visinski rast i prirast. Na osnovi naših istraživanja može se zaključiti kako svaki novi korjenov vrh povećava ukupnu visinu sadnica hrasta lužnjaka za 6,49 mm. Kod sadnica nekih vrsta drveća kao što je crni bor (*Pinus nigra* Arnold), ukupna duljina korijena je puno bolji prediktor vigora nego broj vrhova korijena (Chiatante i dr. 2002). Ovakvih istraživanja nema na šumskim sadnicama hrasta lužnjaka. Ova ili slična istraživanja mogla bi se poboljšati na način da se nakon provedenih morfoloških analiza sadnice različitih tretiranja, s obzirom na navodnjavanje i mikroreljef, posade u različite prirodne stanišne uvjete u kojima bi se pratilo njihovo preživljenje, rast i prirast.

Prema Parelle i dr. (2006), hrast lužnjak i kitnjak poznati su po različitim ekološkim zahtjevima, posebice prema otpornosti korijena na dugotrajno zadržavanje vode u tlu. Na hipoksiju korijena otporniji je hrast lužnjak za razliku od kitnjaka. U našim istraživanjima upravo je utvrđeno kako hrastu kitnjaku više odgovara rast na nagibu gdje postiže i bolju kvalitetu. Späth (1988, 2002) piše kako je hrast lužnjak jedna od vrsta koje su najbolje podnijele velike poplave rijeke Rajne 1987. i 1999. godine. Mlade biljke hrasta lužnjaka, za razliku od ostalih hrastova, pokazuju najbolju prilagodbu na stres uvjetovan poplavama (Kühne i Bartsch 2007). U istraživanjima utjecaja zasićenja tla vodom u području rizosfere utvrđeno je kako su sadnice hrasta lužnjaka pokazale najmanje promjene u rastu za razliku od ostalih vrsta hrastova (Colin-Belgrand i dr. 1991, Dreyer 1994, Schull i Thomas, 2000).

Prema Bergeron i dr. (2004), upravitelji rasadnika trebaju voditi brigu o potrebnim količinama vode za navodnjavanje s obzirom na zahtjeve određene vrste i njezinu dob te mikroklimatske i pedološke prilike rasadnika. Također zahtjevi za vodom se mijenjaju s obzirom na rast i razvoj biljke. Potrebna količina vode za navodnjavanje može se smanjiti, ali samo u situacijama kada takav postupak nema značajniji utjecaj na rast i fiziologiju sadnica.

S obzirom na mikroreljef, kod odabira površina za rasadnike treba izbjegavati jako vjetrovite položaje, udoline i stare vodotoke koji mogu biti potencijalna opasnost za poplave. U idealnom slučaju, površina za rasadnik trebala bi se birati na blago nagnutim terenima, što omogućuje otjecanje viška

vode bez izazivanja erozije tla (Keats 2003). Morby (1984) piše kako nagibi u rasadniku veći od 2 % mogu izazvati eroziju, zahtijevaju skupe mjere kontrole i dovode do neželjene translokacije soli vodotopivih gnojiva. S druge strane, strojevi i oruđa koji se koriste u šumskim rasadnicima najbolje rade na ravnom terenu, dok nepravilna topografija komplicira instalaciju sustava navodnjavanja te uzrokuje propuštanje vode iz cijevi. Proizvodne površine rasadnika Hajderovac odabrane su za istraživanja iz problematike mikroreljefa, jer ih karakterizira vrlo razvedeni reljef s nagibima koji ne izazivaju eroziju tla. Takva konfiguracija mikroreljefa ima svojih prednosti i nedostataka. Prema (Keats 2003), valoviti teren u rasadniku može dovesti do nakupljanja vode. Sadnice u stajaćoj vodi, bez obzira na njezinu dubinu, suše se i propadaju zbog manjka kisika ili stvaranja toksičnih plinova u zoni rizosfere. U našim istraživanjima dokazana je lošija kvaliteta sadnica hrasta kitnjaka na ravnom terenu gdje se cijedila voda iz viših položaja. Ukoliko se na takvim ravnim platoima žele uzgajati šumske sadnice koje ne podnose stajaću vodu, potrebno je projektirati i izgraditi odgovarajući sustav drenaže koji bi spriječio zadržavanje vode i štete na sadnicama tijekom razdoblja naglih i dugotrajnih padalina. Oblik drenažnog sustava ovisi o konkretnim stanišnim uvjetima u pojedinom rasadniku. Općenito načelo kod projektiranja drenaže je usmjeriti višak vode sa strane, kako bi glavni putovi bili suhi (Keats 2003).

Osim zbog kraćeg ili duljeg zadržavanja vode kod navodnjavanja ili prirodnih padalina, mikroreljef je u rasadniku značajan i zbog utjecaja brojnih abiotičkih čimbenika na sadnice (mraz, vjetar, solarna radijacija), što se u konačnici odražava kroz morfološko i fiziološko stanje biljaka. Rasadnik Hajderovac osnovan je u tipičnom mrazištu, što ograničava proizvodnju nekih vrsta, povećava troškove zaštite i negativno utječe na kvalitetu sadnog materijala. Prema van den Driessche (1991) te Villar-Salvador i dr. (2004), ekološki uvjeti i uzgojni postupci njege u rasadniku imaju snažan utjecaj na funkcionalne značajke sadnica, odnosno na njihov uspjeh nakon presađnje. Molla i dr. (2006) utvrdili su značajan utjecaj položaja rasadnika na brojne funkcionalne značajke sadnica hrasta crnike (*Quercus ilex* L.). Sličnih istraživanja nema kada su u pitanju rasadnici s proizvodnjom sadnica hrasta lužnjaka i kitnjaka. Prema Lavenderu (1984), za proizvodnju kvalitetnih sadnica nužno je temeljito poznavanje meteoroloških i edafskih karakteristika rasadnika te genetskog sastava glavnih tipova sadnica. Na primjer, biljke koje rastu u uvjetima visoke vlažnosti i/ili količine hranjiva i smanjene količine svjetla, imaju veći omjer nadzemnog i podzemnog dijela za razliku od biljaka uzgojenih u relativno ograničenim uvjetima vlažnosti i hranjiva pod punim svjetlom. U istraživanjima Tamasija i dr.

(2005) na sadnicama hrasta lužnjaka izloženim stresnom djelovanju umjetnog vjetra utvrđen je dvostruko veći broj postranog korijenja, a došlo je i dvostrukog povećanja njegove ukupne duljine. Kod sadnica izloženih djelovanju vjetra utvrđena je asimetrija u distribuciji korijenskog sustava, a korijenje suprotno smjeru djelovanja vjetra bilo je statistički značajno mnogo brojnije i dulje od onoga u smjeru vjetra. Srednja duljina žile srčanice bila je signifikantno veća kod kontrolnih sadnica, za razliku od srednjeg promjera korijena koji je bio veći kod sadnica izloženih stresnom djelovanju vjetra. Može se zaključiti kako vjetar dovodi do povećanog rasta postranog korijenja na račun glavnog korijenja odnosno žile srčanice. Razvijeno postrano korijenje kod sadnica hrasta lužnjaka osigurava bolje sidrenje mladih biljaka posađenim na vjetrovitim mjestima.

Zaključci Conclusions

Istraživanje utjecaja navodnjavanja i mikroreljefa u rasadniku pokazala su kako ovi čimbenici značajno utječu na pojedine morfološke elemente kvalitete dvogodišnjih (2+0) sadnica hrasta lužnjaka i kitnjaka. Utvrđena je statistički značajna razlika u visini ($p=0,000000$), promjeru vrata korijena ($p=0,000284$) i prosječnom promjeru korijena ($p=0,011632$) između nenavodnjavanih (1) i navodnjavanih (2) sadnica hrasta lužnjaka. Navodnjavane sadnice hrasta lužnjaka također su imale prosječno veću ukupnu duljinu korijena, oplošje korijena i broj vrhova korijena u odnosu na sadnice koje nisu navodnjavane, ali navedene značajke nisu signifikantne. Kod sadnica hrasta kitnjaka utvrđena je statistički značajna razlika između sadnica na nagibu (1) i ravnom terenu (2) s obzirom na varijable: oplošje korijena ($p=0,000010$), prosječan promjer korijena ($p=0,025060$), volumen korijena ($p=0,000037$) i broj vrhova korijena ($p=0,000427$). Sadnice hrasta kitnjaka na nagibu imale su u prosjeku veću visinu, promjer vrata korijena i ukupnu duljinu korijena u odnosu na sadnice na ravnom terenu, ali navedene značajke nisu signifikantne. Navodnjavanje sadnica hrasta lužnjaka u rasadniku utjecalo je na povećanje određenih kvalitativnih varijabli (visina, promjer vrata korijena), zbog čega se navodnjavanje treba propisati kao obvezna mjera njege sadnica na cjelokupnoj proizvodnoj površini rasadnika. S druge strane, sadnice hrasta kitnjaka pokazuju povećanje određenih kvalitativnih varijabli korijena (oplošje, prosječan promjer, volumen, broj vrhova) kod uzgoja na nagibu u odnosu na ravan teren. Ova spoznaja važna je prilikom odabira površina za uzgoj sadnica hrasta kitnjaka u postojećim rasadnicima s mješovitim proizvodnim programom i razvedenim mikroreljefom te kod odabira površina za osnivanje novih rasadnika s ciljem proizvodnje sadnica hrasta kitnjaka.

Zahvala Mention

Na iznimnoj pomoći pri istraživanju zahvaljujemo se UŠP Požega, šumariji Kutjevo i svim djelatnicima rasadnika Hajderovac. Posebne zahvale za pomoć pri postavljanju pokusa i neizmjernu brigu oko njege biljaka na pokusnim plohama upućujemo voditelju rasadnika Hajderovac kolegi Tomislavu Benčiću, dipl.ing.šum.

Literatura References

- Bedford, L., Martin, P., and Scagel, R. 1996. Bednesti Site: Testing the biological effectiveness of mechanical site preparation equipment (Preliminary results). Tour of Bednesti, September 24, 1996. BCMOF/CFS FRDA II. 109 p.
- Bendaravičius, B., V. Vilda, 2005: The influence of irrigation on the spruce (*Picea abies*) seedlings quality. Rural development.
- Bergeron, O., M. S. Lamhamedi, H. A. Margolis, P. Y. Bernier, D. C. Stowe, 2004: Irrigation control and physiological responses of nursery-grown black spruce seedlings (1+0) cultivated in air-slit containers 2004. HortScience, 39 (3): 599–605.
- Burdett, A. N., 1979: A nondestructive method for measuring the volume of intact plant parts. Can. J. For. Res., 9: 120–122.
- Campo, del A. D., R. M. Navarro, C. J. Ceacero, 2009: Seedling quality and field performance of commercial stocklots of containerized holm oak (*Quercus ilex*) in Mediterranean Spain: an approach for establishing a quality standard. New Forests (2010) 39:19–37.
- Chiatante, D., A. Di Iorio, G. S. Scippa, M. Sarnataro, 2002: Improving vigour assessment of pine (*Pinus nigra* Arnold). Plant Biosyst., 136: 209–216.
- Colin-Belgrand, M., E. Dreyer, P. Biron, 1991: Sensitivity of seedlings from different oak species to waterlogging: effects on root growth and mineral nutrition. Annals of Forest Science, 48: 193–204.
- Colombo, S. J., 2001: How to improve the quality of broadleaved seedlings produced in tree nurseries. In: Proceedings of the conference "Nursery production and stand establishment of broadleaves to promote sustainable forest management", Rome, Italy, May 7–10, 2001.
- Davis, A. S., D. F. Jacobs, 2005: Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. New Forests, 30: 295–311.
- Day, R. I., 1984: Chapter 11: Water Management. Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings, Duryea, M. L. i T. D. Landis, Oregon State University, 93–96, Oregon.
- Dreyer, E., 1994: Compared sensitivity of seedlings from 3 woody species (*Quercus robur* L., *Quercus rubra* L. and *Fagus sylvatica* L.) to water logging and associated root hypoxia: effects on water relations and photosynthesis. Annals of Forest Science, 51: 417–429.
- Duryea, M. L. (ed.), 1985: Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Workshop held October 16–18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis. ISBN 0-87437-000-0.
- Filer, T. H., Jr., G. W. Peterson, 1975: Damping-off. Pages 6–8 in Forest nursery diseases in the United States (G. W. Peterson and R. S. Smith, Jr., eds.). U.S.D.A. Forest Serv., Washington, D.C. Agric. Handb. 470.
- Haase, D. L., 2007: Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. In: Riley, L. E.; Dumroese, R. K.; Landis, T. D., tech. coords. 2007. National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2006. Proc. RMRS-P-50. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Hall, K. C., 2003: Manual on nursery practices. Ministry of Agriculture, Forestry Department, Jamaica, 2003. (<http://www.rngr.net/nurseries/publications/proceedings>.)
- Jacobs, D. F., K. F. Salifu, J. R. Seifert, 2005: Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. New Forest, 30: 235–251.
- Jeanicke, H., 1999: Good tree nursery practices – Practical guidelines for research nurseries. ICRAF 1999.
- Keats, C. Hall, 2003: Manual on nursery practices. Forestry Department, Ministry of Agriculture, Jamaica (West Indies), 70 str.
- Kühne, C., N. Bartsch, 2007: Germination of acorns and development of oak seedlings (*Quercus robur* L.) following flooding. J. For. Sci., 53: 391–399.
- Lavender, D. P., 1984: Plant Physiology and Nursery Environment: Interactions Affecting Seedling Growth, Chapter 14 In Duryea, Mary L., and Thomas D. Landis (eds.). Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Hague/Boston/Lancaster, for Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis. 386 str.
- Mattsson A., 1996: Predicting field performance using seedling quality assessment. New Forests 13: 223–248, 1996, Kluwer Academic Publishers.
- McDonald, S. E., 1984: Irrigation in Forest-Tree Nurseries: Monitoring and Effects on seedling Growth, Chapter 12: In Duryea, Mary L., and Thomas D. Landis (eds.). Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Hague/Boston/Lancaster, for Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis. 386 p.
- McMinn, R. G., 1978: Root development of white spruce and lodgepole pine seedlings following outplanting. Pp. 186–190 in Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium, Eds. E. Van Eerden and J.M. Kinghorn. May 16–19, 1978, Victoria, B.C. B.C. Min. For./CFS Joint Rep. No. 8.
- Molla, S., P. Villar-Salvador, P. Garcia-Fayos, J. L. Penuelas Rubira, 2006: Physiological and transplanting performance of *Quercus ilex* L. (holm oak) seedlings grown in nurseries with different winter conditions. Forest Ecology and Management, 237 (1–3): 218–226.
- Morby, F. E., 1984: Nursery-Site Selection, Layout, and Development, Chapter 2 In: Duryea, Mary L., and Thomas D. Landis (eds.). Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. The Hague/Boston/Lancaster, for Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis. 386 p.
- Nicotra, A. B., N. Babicka, M. Westoby, 2002: Seedling root anatomy and morphology: an examination of ecological differentiation with rainfall using phylogenetically independent contrasts. Oecologia, 130:136–145.

- Parelle, J., O. Brendel, C. Bodénès, D. Berveiller, P. Dizengremel, Y. Jolivet, E. Dreyer, 2006: Differences in morphological and physiological responses to water logging between two sympatric oak species (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl., *Quercus robur* L.). *Ann. For. Sci.*, 63: 849–859.
- Rose, R., M. Atkinson, J. Gleason, T. Sabin, 1991a: Root volume as a grading criterion to improve field performance of Douglas-fir seedlings. *New Forest*, 5: 195–209.
- Rose, R., J. Gleason, M. Atkinson, T. Sabin, 1991b: Grading ponderosa pine seedlings for outplanting according to their root volume. *Western J. Appl. For.*, 6: 11–15.
- Rose, R., M. Atkinson, J. Gleason, D. Haase, 1992: Nursery morphology and preliminary comparison of 3-year field performance of 1 + 0 and 2 + 0 bareroot ponderosa pine seedlings. *Tree Planters' Notes*, 43: 153–158.
- Rose, R., D. L. Haase, F. Kroiher, T. Sabin, 1997: Root volume and growth of ponderosa pine and Douglass – fir seedlings: a summary of eight growing seasons. *Western J. Appl. For.* 12: 69–73.
- Royo, A., L. Gil, J. A. Pardos, 2001: Effect of water stress conditioning on morphology, physiology and field performance of *Pinus halepensis* Mill. Seedlings. *New Forests*, 21: 127–140.
- Schnull, M., F. M. Thomas, 2000: Morphological und physiological reactions of young deciduous trees (*Quercus robur* L., *Q. petraea* [Matt.] Liebl., *Fagus sylvatica* L.) to waterlogging. *Plant and Soil*, 225: 227–242.
- Späth, V., 1988: Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen. *Natur und Landschaft*, 63: 312–315.
- Späth, V., 2002: Hochwassertoleranz von Waldbäumen in der Rheinaue. *AFZ/Der Wald*, 57: 807–810.
- StatSoft, Inc., 2007: *Electronic Statistics Textbook*. Tulsa, OK: StatSoft. WEB <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.
- Tamasi, E., A. Stokes, B. Lasserre, F. Danjon, S. Berthier, T. Fourcaud, D. Chiatante, 2005: Influence of wind loading on root system development and architecture in oak (*Quercus robur* L.) seedlings. *Trees*, 19: 374–384.
- Tsakalidimi M., T. Zagas, T. Tsitsoni, P. Ganatsas, 2005: Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. *Plant and Soil* (2005) 278:85–93, Springer 2005.
- van den Driessche, R., 1991: Influence of container nursery regimes on drought resistance of seedlings following planting I. Survival and growth. *Can. J. For. Res.*, 21: 555–565.
- Villar-Salvador, P., R. Planelles, E. Enríquez, J. Pen˜uelas Rubira, 2004: Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *For. Ecol. Manage.*, 196: 257–266.
- WinRhizo Pro.V., 2005: Basic, Reg & Pro for Washed root measurement. Regent Instruments Inc., Canada. 106 pp.
- Zaerr, J. B., 1983: Short-term flooding and net photosynthesis in seedlings of three conifers. *Forest Sci.*, 29 (1):71–78.
- Zahner, R., 1968: Water deficits and growth of trees. Pages 191–254 in *Water deficits and plant growth* (T. T. Kozlowski, ed.). Academic Press, New York. 333 p.

Summary:

We researched the influence of irrigation and micro-relief in nurseries on morphological properties of pedunculate and sessile oak seedlings (2+0). The test plots were established in the forest nursery Hajderovac, Forestry Office Kutjevo, Forest Administration Branch Požega. The sowing of sessile oak acorns was carried out from 7 to 11 October 2005, and of pedunculate oak on 14 October 2005. Irrigation was taken as a treatment for the pedunculate oak seedlings (1 non-irrigated, 2 irrigated) while for the sessile oak seedlings it was the micro-relief (1 on slopes, 2 on flat terrain). At the end of the second growing season a random sample of seedlings was taken from the test plots for a morphological analysis. The morphological analysis of the washed root system was performed on the scanner Epson Expression 10000XL while the WinRhizo pro.V.2005 software was used to determine five root variables: length (cm), perimeter (cm²), average diameter (mm), volume (cm³) and number of root tips (pieces). For the seedlings of pedunculate oak a variance difference higher than the set limit (p=0,05) was established for the following variables: root length (p=0,293703), root perimeter (p=0,21999), root volume (p=0,281090) and the number of root tips (p=0,829142). Mann Whitney's U-test established a statistically significant difference in height (p=0,000000), root collar diameter (p=0,000284) and the average root diameter (p=0,011632) between the non-irrigated (1) and the irrigated (2) seedlings of pedunculate oak. With an average height of 578 mm (322–790 mm) the irrigated pedunculate oak seedlings (2+0) were by 305 mm higher compared to the non-irrigated ones. The average root collar diameter of the irrigated seedlings was also by 0,92 mm larger compared to the non-irrigated ones and amounted to 6,91 mm (4,93–9,90 mm). On average the root diameter of the irrigated seedlings was by 0,12 mm larger compared to the non-irrigated ones. The irrigated seedlings of pedunculate oak also showed a larger total root length (cm), root perimeter (cm²) and number of root tips (pcs) with respect to the non-irrigated ones but the mentioned characteristics are not significant. For the seedlings of sessile oak a variance difference higher than the set limit (p=0,05) was established for the following variables: height (p=0,178360), root collar diameter (p=0,077099) and root length (p=0,148820). Mann Whitney's U-test established a statistically significant difference in all the four tested variables (root perimeter (p=0,000010), average root diameter (p=0,025060), root volume

($p=0,000037$) and number of root tips ($p=0,000427$) between the sessile oak seedlings on slopes (1) and on the flat terrain (2). The average root perimeter of the sessile oak seedlings grown on slopes was by $85,39 \text{ cm}^2$ larger compared to the seedlings grown on flat terrain and amounted to $271,97 \text{ cm}^2$ ($58,57\text{--}633,94 \text{ cm}^2$). The average root diameter of the sessile oak seedlings on slopes was $1,60 \text{ mm}$ ($1,17\text{--}2,10 \text{ mm}$) which is by $0,10 \text{ mm}$ longer compared to those on flat terrain. The average root volume of the seedlings on slopes was by $3,88 \text{ cm}^3$ larger compared to those on the flat terrain and amounted to $10,99 \text{ cm}^3$ ($2,40\text{--}27,21 \text{ cm}^3$). The seedlings on slopes had 818 root tips (111–2551 pcs), which is 226 pieces more compared to those from flat terrain. The seedlings of sessile oak growing on slopes had larger height (mm), root collar diameter (mm) and the total root length (cm) with respect to those on flat terrain but the mentioned characteristics are not significant. The research proves that irrigation of pedunculate oak seedlings in nursery influenced several quality variables (height, root collar diameter). Therefore, irrigation should become a required practice for the seedlings on the entire nursery production area. On the other hand, the seedlings of sessile oak display an increase in several root quality variables (perimeter, average diameter, volume, number of tips) when grown on slopes, and this practice should be adopted in all nurseries with developed micro-relief.

KEY WORDS: seedling quality, root length, root perimeter, root collar diameter, root volume, number of root tips