

# Odnos podzemne i nadzemne biomase kod pomlatka obične bukve i hrasta kitnjaka

---

**Hodak, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:127251>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-08**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ**  
**ŠUMARSTVO**

**LUKA HODAK**

**ODNOS PODZEMNE I NADZEMNE BIOMASE KOD POMLATKA**  
**OBIČNE BUKVE I HRASTA KITNJAKA**

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB**

**Rujan, 2021. godine**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

<b>Zavod:</b>	Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku
<b>Predmet:</b>	Fiziologija šumskoga drveća
<b>Mentor:</b>	Doc.dr.sc. Krunoslav Sever
<b>Student:</b>	Luka Hodak
<b>JMBAG:</b>	0068231476
<b>Akad. Godina :</b>	2020./2021.
<b>Mjesto, datum obrane:</b>	Zagreb, 24. 09. 2021. godine
<b>Sadržaj rada:</b>	Slika: 11 Tablica: 2 Navoda literature: 20 Stranica: 24

**Sažetak:** Ovo istraživanje provedeno je na prirodnom pomlatku obične bukve i hrasta kitnjaka porijeklom sa dva kontrastna staništa (provenijencije) s obzirom na godišnju količinu oborina. Provenijencija Slavonski Brod odlikuje se manjom količinom oborina u odnosu na provenijenciju Karlovac. U skladu s tim, cilj rada bio je utvrditi utjecaj vrste (obične bukve i hrasta kitnjaka), provenijencije (dviju sastojina koje pridolaze na području s različitom količinom oborina) i njihove interakcije (vrsta x provenijencija) na rast i produkciju suhe tvari podzemnog (sitno i krupno korijenje) i nadzemnog (stabljika) dijela prirodnog pomlatka obične bukve i hrasta kitnjaka. Prema dobivenim rezultatima produkcija suhe tvari podzemnog dijela (krupno korijenje) bila je daleko izraženija kod pomlatka hrasta kitnjaka u odnosu na pomladak obične bukve, dok su rast i produkcija suhe tvari stabljike bili podjednaki kod obiju vrsta. Rast (dubina zakorijenjivanja) i produkcija suhe tvari podzemnog dijela (krupno i sitno korijenje) istraživanog pomlatka bila je daleko izraženija u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB, vrlo vjerojatno zbog nižih koncentracija mineralnih hranjiva u tlu. Prema tome, utjecaj različite količine oborina u provenijenciji SB (manje oborina i/ili nešto suši uvjeti staništa) i provenijenciji KA (više oborina i/ili nešto vlažniji uvjeti) na rast i produkciju suhe tvari istraživanoga pomlatka nije se odrazio na očekivani način.



**IZJAVA  
O IZVORNOSTI RADA**

**OB ŠF 05 07**

Revizija: 1

Datum: 28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj *završni rad* izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam *koristio* drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

---

*vlastoručni potpis*

*Luka Hodak*

U Zagrebu, 24.09.2021.

## SADRŽAJ :

1. UVOD .....	1
1.1. Ekološki zahtjevi i biološka svojstva obične bukve i hrasta kitnjaka .....	1
1.2. Utjecaj okolišnih čimbenika na odnos podzemne i nadzemne biomase kod šumskoga drveća .....	3
2. CILJ ISTRAŽIVANJA .....	5
3. MATERIJALI I METODE .....	6
3.1. Geomorfološke značajke i klimatske prilike istraživanih provenijencija .....	6
3.2. Vegetacijske značajke i stanišne prilike istraživanih provenijencija .....	7
3.3. Uzorkovanje pomlatka i određivanje njegovih morfoloških značajki .....	7
3.4. Statistička analiza .....	8
4. REZULTATI .....	9
4.1. Razlike u vegetacijskim značajkama i stanišnim prilikama između provenijencija .....	9
4.2. Utjecaj vrste i provenijencije na rast i produkciju suhe tvari podzemnog i nadzemnog dijela istraživanog pomlatka .....	10
4.2.1. Utjecaj vrste .....	11
4.2.2. Utjecaj provenijencije .....	11
5. RASPRAVA .....	18
5.1. Razlike između vrste .....	18
5.2. Razlike između provenijencije .....	19
6. ZAKLJUČAK .....	21
7. LITERATURA .....	22

# 1. UVOD

## 1.1. Ekološki zahtjevi i biološka svojstva obične bukve i hrasta kitnjaka

Hrast kitnjak i obična bukva su jedne od najvažnijih vrsta drveća u Hrvatskoj. U Hrvatskoj hrast kitnjak predstavlja glavnu vrstu drveća brežuljkastog pojasa. Taj se pojas na nadmorskoj visini od približno 120 – 150 metara prisanja uz nizinski pojas u kojemu prevladavaju šume hrasta lužnjaka. Na nadmorskoj visini od približno 400 – 500 metara, pojas kitnjakovih šuma graniči s brdskim pojaskom, gdje prevladavaju šume obične bukve. Ovom pojasku pripadaju brežuljci i donji dijelovi panonskog gorja (Medvednica, Ivanščica, Kalnik, Papuk, Psunj, Dilj, Požeška gora i dr.). Brežuljkasti pojas razvijen je također u Banovini te južno od Karlovca i u smjeru Severina na Kupi, te u smjeru Josipdola, na rubu ličke visoravni i u Istri (Vukelić i Rauš 1998). Sastojine hrasta kitnjaka su najčešće mješovite i razvijaju se iznad dohvata poplavnih voda. U omjeru smjese uz hrast kitnjak pridolaze obična bukva, obični grab, pitomi kesten, obična breza, divlja trešnja, javor klen, divlja kruška, crni jasen, mukinja, jarebika i lipa. Udio navedenih vrsta mijenja se s uvjetima staništa, nadmorskom visinom, ekspozicijom, nagibom i šumskouzgojnim postupcima (Vukelić i Rauš 1998). Hrast kitnjak raste na kiselom, podzolastom te slabo razvijenom skeletnom tlu, nizinskih, a naročito brežuljkastih i brdskih terena (Franjić, 2010).

Prema Prpić i dr. (2003) bukva je pravi skiofit, te od svih europskih vrsta listopadnog drveća najbolje podnosi zasjenu. Na pojavu svjetla bukva reagira puno brže od svojih pratilaca u bukovo-jelovoj prebornoj šumi. Mlada bukova stabla iskrivljuju se prema izvoru svjetla, srednjodobna stabla produžuju svoju krošnju, a stara stabla produžuju jednu, a često i više grana prema otvoru sklopa u sastojini. Gledajući toplinu optimalan razvoj bukve je u području s prosječnom godišnjom temperaturom zraka između 7 i 10 °C i prosječnom temperaturom vegetacijskog razdoblja od 14 °C do 17 °C. S obzirom na toplinu obična bukva traži višu temperaturu zraka i tla od jele, a manje od hrasta kitnjaka. Klima u kojoj pridolazi je umjereno oceanska i blaža kontinentalna, prema Köppenovoj klasifikaciji obilježena blažim zimama, nedovoljno oštirim da oštete tanke ljuske bukvinih pupova, relativno blagim proljećima bez redovitog kasnog mraza koji bi mogao oštetiti mlado lišće i cvjetove

te slabije izraženim ljetnim vrućinama i sušama (Seletković i dr. 2003). Prema vlazi bukva ne dolazi u mokrim tlima s visokim razinama podzemnih voda, a ne podnosi ni previše suha tla, najbolje joj odgovaraju svježja i duboka tla. Prema nekoliko autora bukva godišnje transpirira oko 300 mm vode, a intercepcijom zadrži oko 25 % oborina. Bukva je srazmjerno štedljiva u potrošnji vode. Za proizvodnju 1 kg biomase bukva potroši 169 kg transpiracijske vode (hrast kitnjak 344 kg). Zahtjevi obične bukve za biogenim elementima u tlu relativno su skromni, što se očituje njenom prisutnošću na različitim tipovima tala, koji se međusobno znatno razlikuju mineralnim sastavom (Seletković i dr. 2003).

Bukva u Hrvatskoj dolazi u svim vegetacijskim pojasima od nizinskog do visoko planinskoga u kopnenom dijelu, koji pripada eurosibirsko-sjevernoameričkoj vegetacijskoj regiji. U tom području vrlo je malo šumskih zajednica u kojima nema bukve s većim ili manjim udjelom.

Mješovite sastojine hrasta kitnjaka i obične bukve rasprostranjene su u brdskim terenima, nižim gorjima i podnožjima većih masiva, u humidnim klimatskim uvjetima, na euteričnim kambisolima, luvisolima i obrončanom pseudogleuju na različitim supstratima (Rauš 1998). Ove sastojine se mogu pronaći u cijelom dijelu oko Medvednice, Ivanščice i ostalih gora sjeverozapadne Hrvatske, a zatim možemo pronaći lijepe sastojine na Bilogori, u središnjim dijelovima Slavnskoga gorja. Također je proširena i u srednjoj Hrvatskoj južnije od Karlovca te na obroncima Dinarida prema krškim poljima. (Vukelić i Rauš 1998). Sastojine hrasta kitnjaka i obične bukve možemo pronaći na nadmorskoj visini od 300 do 600 metara.

## **1.2. Utjecaj okolišnih čimbenika na odnos podzemne i nadzemne biomase kod šumskoga drveća**

Nadzemnu živu biomasu šumskoga drveća čini deblo (krupnije i sitnije grane te izbojci), lišće, cvjetovi i plodovi, dok se u podzemnu živu biomasu ubraja korijenje (krupno i sitno).

Hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) ima sličan korijenski sustav kao hrast lužnjak (*Quercus robur* L.). Prema tome odlikuje se dobro razvijenim horizontalnim sustavom korijena s ponirućim korijenjem te snažnom žilom srčanicom. Kitnjak je manje sklon vjetroizvalama zahvaljujući kombiniranom korijenskom sustavu u odnosu na korijenske sustave samo sa žilom srčanicom ili ponirućim korijenjem (Drexhage i dr. 2011). Horizontalno korijenje čini 80 % ukupne biomase

korijenskoga sustava kod hrasta kitnjaka. Prema rezultatima ranijih istraživanja utvrđeno je da poniruće korijenje kod hrasta kitnjaka seže mnogo dublje u tlo nego kod ostalih vrsta, iz razloga da si omogući bolju opskrbu s vodom iz tla tijekom sušnih razdoblja. Općenito, za rast korijena potrebna je temperatura tla minimalno između 0 i 5 ° C ( Kozłowski i dr. 1991). Iznad navedenog temperaturnog praga rast korijena se intenzivira s porastom temperature tla, sve dok se ne postigne maksimalna stopa rasta pri temperaturi tla između 20 i 25 °C. Uobičajen odgovor vrsta iz roda *Quercus* na smanjenu dostupnost vode u tlu (sušu) je intenzivnije ulaganje asimilata u korijen nego u nadzemne organe s ciljem unaprjeđenja osomtske prilagodbe i/ili osmoregulacije te daljnjeg neometanog usvajanja vode i mineralnih hranjiva iz tla pomoću korijena unatoč opadanju sadržaja vode u tlu (Thomas i Gausling 2000; Broadmeadow i Jackson 2000; Joslin i dr. 2000; Gieger i Thomas 2002; Fotelli i dr. 2000).

Šumsko drveće ima sposobnost intenzivirati rast svoga korijenja s ciljem njegove penetracije u slojeve tla unutar kojih su ograničavajući resursi nužni za rast (voda i mineralne tvari) najkoncentriraniji i/ili najlakše dostupni, što je na primjeru hrasta kitnjaka dokazano od strane Callaway 1990. Štoviše, u odnosu na običnu bukvu i/ili običnu smreku kod hrastova je ovakav obrazac razvoja korijenja mnogo izraženiji (Göransson i dr. 2006). Prema Thomas (2000) na rast korjenova sustava kod hrasta kitnjaka mineralnih hranjiva, posebice dušik imaju veći utjecaj nego vlažnost tla.

Tijekom prve tri godine života obična bukva tvori snažan i čupav korijenov sustav koji kasnije poprima srcasti oblik (Joyce i dr. 1998). Morfološke značajke korijenja kod šumskoga drveća su često puta posljedica edafskih prilika. Primjerice, krupno korijenje „izbjegava“ horizonte tla s visokim udjelom gline gdje prevladavaju anaerobni uvjeti kao i horizonte tla s visokim udjelom skeleta. Sitno korijenje „preferira“ horizonte tla koji su bogati mineralnim hranjivima (Kostler i dr. 1968). Rast sitnoga korijenja negativno je utjecan teškim metalima (olovom i živom) te aluminijskim ionima koji otežavaju usvajanje mineralnih hranjiva nužnih rast korijenja i nadzemnih biljnih organa (Sander 1996).

Rast stabljike kod obične bukve (kao i kod ostalih vrsta šumskoga drveća) uvelike je utjecan okolišnim čimbenicima i/ili konkurencijom pripadnike iste ili drugih vrsta. U slučaju povoljnih okolišnih čimbenika i visoke konkurencije obična bukva razvijat će ravnu visoku stabljiku. U suprotnom, vrlo



rano dolazi do intenzivnog grananja te razvoja prilično niske i često puta zakrivljene stabljike (Burschel i Huss, 1987). U slučaju nepovoljnih svjetlosnih uvjeta obično dolazi do razvoja asimetrične krošnje što ostavlja negativne posljedice na stabljiku koja u tom slučaju postaje zakrivljena i često puta niska (Knigge i Schulz, 1966).

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Hipoteza ovoga istraživanja oslanja se na činjenicu da su zajednička staništa obične bukve i hrasta kitnjaka ograničena na brežuljkasti vegetacijski pojas panonskog područja Republike Hrvatske u kojemu se klima s obzirom na godišnju količinu oborina prilično razlikuje. Primjerice, na području istočne Hrvatske godišnje u prosjeku padne oko 700 mm oborina dok na području sjeverozapadne Hrvatske padne oko 1100 mm oborina (Zaninović i dr. 2008). S obzirom na činjenice iznesene u uvodnom poglavlju, očekuje se da bi na području istočne Hrvatske prirodni pomladak obične bukve i hrasta kitnjaka mogao imati snažnije razvijen korijen na uštrb stabljike, što bi trebalo ukazivati na njegovu bolju otpornost prema suši u odnosu na pomladak s područja sjeverozapadne Hrvatske.

U skladu s tim, cilj ovoga rada bio je utvrditi utjecaj vrste (obične bukve i hrasta kitnjaka), provenijencije (dviju sastojina koje pridolaze na području s različitom količinom oborina) i njihove interakcije (vrsta x provenijencija) na rast i produkciju suhe tvari podzemnog (sitno i krupno korijenje) i nadzemnog (stabljika) dijela prirodnog pomlatka obične bukve i hrasta kitnjaka, te na njihov alometrijski rast.

### 3. MATERIJALI I METODE

S obzirom na prethodno postavljeni cilj ovo istraživanje provedeno na mladim biljkama obične bukve i hrasta kitnjaka u razvojnem stadiju pomlatka porijeklom iz dvije zrele mješovite sastojine obične bukve i hrasta kitnjaka iz panonskog dijela Republike Hrvatske, od kojih se jedna nalazi u blizini Karlovca (KA), a druga u blizini Slavonskog Broda (SB).

#### 3.1. Geomorfološke značajke i klimatske prilike istraživanih provenijencija

U obje sastojine (provenijencije) dominiraju blagi nagibi terena bez izraženih strmih padina, s tom razlikom što u provenijenciji KA dominiraju hladnije osojne, a u provenijenciji SB toplije prisojne ekspozicije (Tablica 1.).

**Tablica 1.** Lokacija i klimatske prilike istraživanih provenijencija Slavonski Brod i Karlovac. Srednja godišnja temperatura ( $T_{go}$ ), srednja temperatura vegetacijskoga razdoblja ( $T_{vr}$ ), srednja godišnja količina oborina ( $OB_{go}$ ), srednja količina oborina vegetacijskoga razdoblja ( $OB_{vr}$ ), broj dana u godini sa snježnim pokrivačem ( $S_d$ ) i srednja mjesečna maksimalna visina snjega u mjesecima sa snježnim pokrivačem ( $S_{v\ max}$ ) za razdoblje 1949 – 2019 što je preuzeto od Hrvatskog državnog hidrometeorološkog zavoda za najbliže meteorološke postaje (Slavonski Brod i Karlovac) [https://meteo.hr/klima\\_e.php?section=klima\\_podaci&param=k1](https://meteo.hr/klima_e.php?section=klima_podaci&param=k1)

Parametri	Provenijencija	
	Slavonski Brod	Karlovac
Koordinate	17.973173 N 45.273451 E	15.524041 N 45.466135 E
Nadmorska visina	245	170
Ekspozicija	J - JI	S-SI
$T_{go}$ (°C)	11.1	11.1
$T_{vr}$ (°C)	17.7	17.6
$OB_{go}$ (mm)	770.3	1111.8
$OB_{vr}$ (mm)	441.0	584.4
$S_d$ (dana - <i>days</i> )	24	25
$S_{v\ max}$ (cm)	18	32

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime obje provenijencije pridolaze u području umjereno tople kišne klime, bez suhog razdoblja s jednoliko raspoređenim oborinama tijekom cijele godine, gdje najsuši dio godine pada u hladno godišnje doba. Jedina razlika ogleda se u tome da u toplijem dijelu godine na području provenijencije KA postoje dva oborinska maksimuma koji se pojavljuju u proljeće

i kasno ljeto (Cfwbx“ tip klime), a na području provenijencije SB samo jedan oborinski maksimum (Cfwb „x“ pod tip Cfwbx“ glavnog tipa klime). Uz to, provenijencija KA pridolazi vrlo blizu granice gdje Cfwbx“ tip klime prelazi u Cfsbx“ tip klime u kojemu najsuši dio godine pada u toplo godišnje doba s glavnim oborinskim maksimumom koji se pojavljuje u kasnu jesen (Seletković i Katušin 1992).

Prosječna godišnja temperatura zraka i temperatura zraka tijekom vegetacijskoga razdoblja u obje su provenijencije podjednake. Međutim, provenijencija SB u odnosu na provenijenciju KA odlikuje se manjom količinom oborina. Na godišnjoj razini za 31 %, a na razini vegetacijskoga razdoblja za 25 %. Ukupan broj dana u godini sa snijegom u obje provenijencije je podjednak. Međutim, srednja maksimalna visina snijega u mjestima sa snježnim pokrivačem viša je u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB za čak 44 % (Tablica 1).

### **3.2. Vegetacijske značajke i stanišne prilike istraživanih provenijencija**

Sredinom lipnja 2021. godine u obje provenijencije obavljeno je fitocenološko snimanje vegetacije. U svakoj provenijenciji napravljene su po tri fitocenološke snimke površine 400 m<sup>2</sup> prema standardnoj srednjoeuropskoj metodologiji (Braun-Blanquet 1964; Westhoff i van der Maarel 1973) na temelju čega je određena fitocenološka pripadnost sastojina iz istraživanih provenijencija. Uz to, za svaku biljnu vrstu određene su njene Ellenbergove indikatorske vrijednosti (EIV) na temelju kojih su procijenjeni ekološki uvjeti staništa (svjetlost, toplina, vlažnost, pH reakcija tla i mineralna hranjiva u tlu) na kojima pridolaze istraživane provenijencije (Ellenberg i dr. 1992).

### **3.3. Uzorkovanje pomlatka i određivanje njegovih morfoloških značajki**

Uzorkovanje (iskapanje) pomlatka u obje provenijencije obavljeno je početkom ožujka 2021. godine na površini približne veličine od 1 ha (100 x 100 m) ispod 50 majčinskih stabala (25 stabala obične bukve i 25 stabala hrasta kitnjaka u svakoj provenijenciji) koja su bila međusobno udaljena minimalno 20 metara. Prema tome, ukupno je izvađeno i analizirano 100 mladih biljaka, po 50 biljaka iz svake provenijencije, od toga 25 biljaka obične bukve i 25 biljaka hrasta kitnjaka. Svaka biljka pažljivo je iskopana zajedno sa kompaktnim busenom tla približnih dimenzija 40 x 40 x 50 cm kako bi se izbjeglo oštećenje korjenova sustava.

Nakon dopremanja iskopanih biljaka u laboratorij korijen svake biljke pažljivo je odvojen od tla nakon čega je dodatno ispran pod mlazom vode i prosušen na sobnoj temperaturi. Nakon toga, svakoj biljci je izmjeren; promjer stabljike na vratu korijena (Dst) što je izraženo u mm, visina stabljike (Hst) i dužina glavnog korijena (Lko), na temelju čega je procijenjena dubina zakorijenjivanja što je izraženo u cm. Nakon toga, za svaku je biljku utvrđena masa suhe tvari stabljike (STst), masa suhe tvari krupnog korijenja promjera većeg od 2 mm (KKst), masa suhe tvari sitnog korijenja promjera manjeg od 2 mm (SKst) i ukupna masa suhe tvari čitave biljke (UKst) što je izraženo u g. Na temelju tih podataka za svaku je biljku utvrđen i njezin alometrijski rast kojega predstavljaju odnos promjera na vratu korijena i visina stabljike (Dst/Hst), dužina glavnog korijena i visina stabljike (Lko/Hst) te masa suhe tvari krupnog korijena i masa suhe tvari stabljike (KKst/STst).

Suha tvar utvrđena je vaganjem na analitičkoj vagi nakon sušenja biljnoga materijala na temperaturi od 105° C u trajanju od 48 sati. Starost svake uzorkovane biljke utvrđena je brojanjem godova na poprečnom presjeku stabljike na vratu korijena.

### **3.4. Statistička analiza**

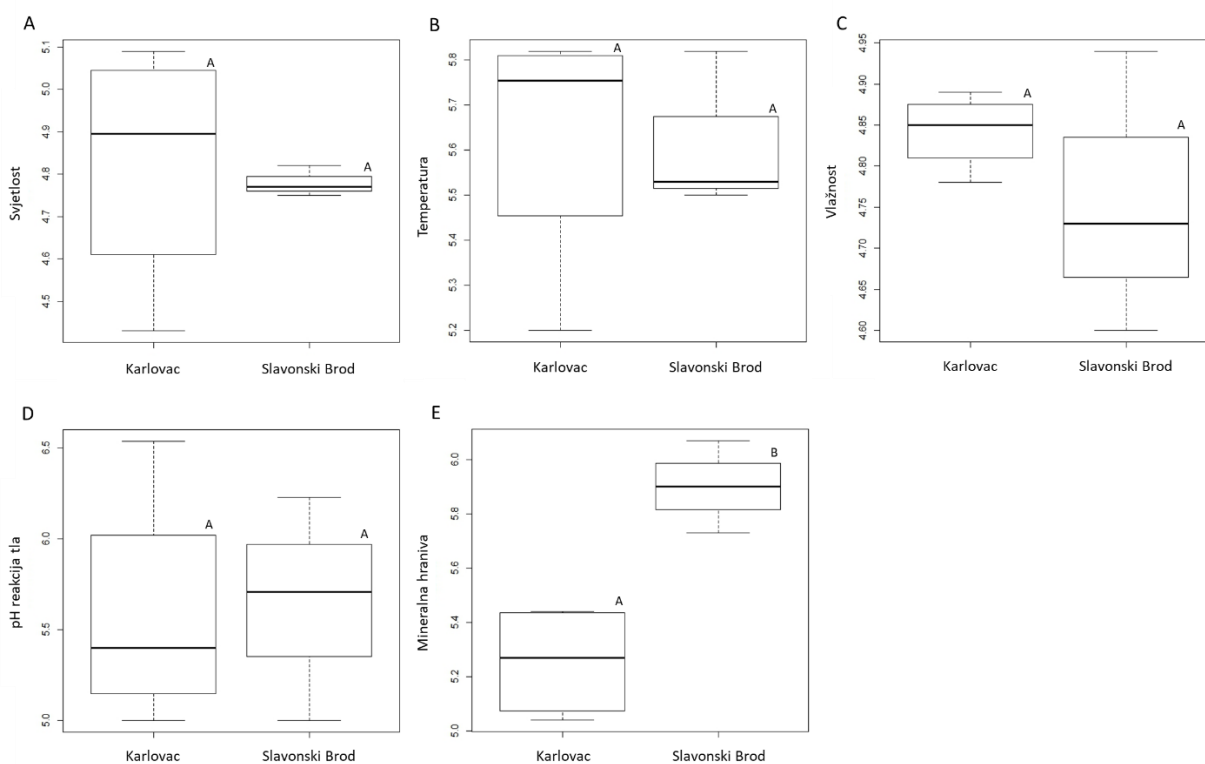
Utjecaj vrste i provenijencije te njihove interakcije na rast i produkciju suhe tvari podzemnog i nadzemnog dijela pomlatka ispitan je pomoću dvosmjerne ANOVA-e. Razlike između vrsta, provenijencija i vrsta s obzirom na pripadnost provenijencijama ispitane su pomoću Tukey-eva post hoc testa pri razini signifikantnosti  $p < 0,05$ . Navedene analize provedene su programskim paketom Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2006).

## 4. REZULTATI

### 4.1. Razlike u vegetacijskim značajkama i stanišnim prilikama između provenijencija

Obje provenijencije pripadaju istoj biljnoj zajednici, ilirskoj šumi hrasta kitnjaka i običnoga graba [*Epimedio-Carpinetum betuli* (Ht. 1938) Borhidi 1963].

U skladu s tim, stanišne prilike u obje provenijencije vrlo su slične. Signifikantna razlika utvrđena je samo za mineralna hranjiva u tlu kojih je prema Elebergovim indikatorskim vrijednostima više u provenijenciji SB nego u provenijenciji KA (Slika 1e), dok su svjetlosni uvjeti (Slika 1a), toplina (Slika 1b), vlažnost staništa (Slika 1c) i pH reakcija tla (Slika 1d) bile podjednake u obje provenijencije.



**Slika 1.** Usporedba svjetlosnih uvjeta (A), temperature (B), vlažnosti (C), pH reakcije tla (D) i mineralnih hranjiva u tlu (E) u istraživanim provenijencijama (Karlovac i Slavonski Brod) na temelju Elebergovih indikatorskih vrijednosti prikazanih pomoću Box and Whiskers dijagrama. Različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike između provenijencija.

#### 4.2. Utjecaj vrste i provenijencije na rast i produkciju suhe tvari podzemnog i nadzemnog dijela istraživnog pomlatka

Rezultati dvosmjerne ANOVA-e (Tablica 2) u kombinaciji s deskriptivnom statistikom (Slike 2 – 11) otkrivaju cjelokupan utjecaj vrste i provenijencije na rast ( $D_{st}$ ,  $H_{st}$ ,  $L_{ko}$ ), produkciju suhe tvari ( $ST_{uk}$ ,  $ST_{st}$ ,  $ST_{kk}$  i  $ST_{sk}$ ) i alometrijski rast ( $D_{st}/H_{st}$ ,  $L_{ko}/H_{st}$ ,  $ST_{kk}/ST_{st}$ ) istraživnog pomlatka. Prema dobivenim rezultatima, interakcija vrsta x provenijencija nije imala signifikantan utjecaj niti na jedan istraživni parametar rasta istraživnoga pomlatka, dok su vrsta i/ili provenijencija signifikantno utjecale na većinu istraživanih parametara (Tablica 2).

**Tablica 2.** Utjecaj vrste (obična bukva vs. hrast kitnjak), provenijencije (Slavonski Brod vs. Karlovac) i njihove interakcije (vrsta x provenijencija) na promjer stabljike ( $D_{st}$ ), visinu stabljike ( $H_{st}$ ), dužinu glavnog korijena ( $L_{ko}$ ), ukupnu masu suhe tvari čitave biljke ( $ST_{uk}$ ), masu suhe tvari stabljike ( $ST_{st}$ ), masu suhe tvari krupnog korijenja ( $ST_{kk}$ ), masu suhe tvari sitnog korijenja ( $ST_{sk}$ ), odnos promjera stabljike na vratu korijena i visine stabljike ( $D_{st}/H_{st}$ ), odnos dužine glavnog korijena i visine stabljike ( $L_{ko}/H_{st}$ ) te odnos mase suhe tvari krupnoga korijenja i suhe tvari stabljike ( $ST_{kk}/ST_{st}$ ) kako je izračunato pomoću dvosmjerne ANOVA-e.

Parametar	Vrsta		Provenijencija		Vrsta x provenijencija	
	F vrijednost	$p$	F vrijednost	$p$	F vrijednost	$p$
$D_{st}$	0.009	0.923	9.157	<b>0.003</b>	1.837	0.178
$H_{st}$	10.779	<b>0.001</b>	9.417	<b>0.002</b>	0.065	0.799
$L_{ko}$	48.673	<b>&lt; 0.0001</b>	5.043	<b>0.027</b>	0.010	0.923
$ST_{uk}$	18.363	<b>&lt; 0.0001</b>	0.267	0.607	0.942	0.334
$ST_{st}$	0.034	0.854	0.026	0.873	1.793	0.184
$ST_{kk}$	39.562	<b>&lt; 0.0001</b>	0.119	0.730	0.425	0.516
$ST_{sk}$	0.348	0.556	9.259	<b>0.003</b>	0.793	0.376
$D_{st}/H_{st}$	12.260	<b>0.001</b>	38.485	<b>&lt; 0.0001</b>	0.612	0.436
$L_{ko}/H_{st}$	73.331	<b>&lt; 0.0001</b>	18.695	<b>&lt; 0.0001</b>	0.368	0.546
$ST_{kk}/ST_{st}$	105.744	<b>&lt; 0.0001</b>	2.004	0.160	0.190	0.663
Podebljane vrijednosti ukazuju na signifikantan efekt; $p < 0.05$						

#### 4.2.1. Utjecaj vrste

Vrsta je signifikantno utjecala na Hst i Lko (Tablica 2). To znači da je pomladak hrasta kitnjaka u odnosu na pomladak obične bukve imao signifikantno manju Hst (za 13 %) i signifikantno veću Lko (za 30 %), dok je Dst kod pomlatka obiju vrsta bio podjednak (Slike 2, 3 i 4).

Produkcija UKst i KKst također su bile signifikantno utjecane vrstom (Tablica 2). To znači da je pomladak hrasta kitnjaka u odnosu na pomladak obične bukve producirao signifikantno više UKst (za 38 %) i KKst (za 57 %), dok je produkcija STst i SKst bila podjednaka kod obje vrste (Slike 5, 6, 7 i 8).

Alometrijski rast (Dst/Hst, Lko/Hst i KKst/STst) također je bio signifikantno utjecan vrstom (Tablica 2). To znači da je pomladak hrasta kitnjaka u odnosu na pomladak obične bukve imao signifikantno veći Dst/Hst, Lko/Hst i KKst/STst (Slike 9, 10 i 11). Prema tome, kitnjakov u odnosu na bukov pomladak odlikuje se većim promjerom stabljike na vratu korijena i dužim korijenom, tj. dubljim zakorijenjivanjem u odnosu na pretpostavljeno istu visinu stabljike kod obje vrste, odnosno većom masom suhe tvari korijena u odnosu na pretpostavljeno istu masu suhe tvari stabljike kod obje vrste. U skladu s tim, kod pomlatka hrasta kitnjaka čak 71 % ukupne mase suhe tvari otpada na korijen (na stabljiku preostalih 29 %), a kod pomlatka obične bukve 53 % (na stabljiku preostalih 47 %).

#### 4.2.2. Utjecaj provenijencije

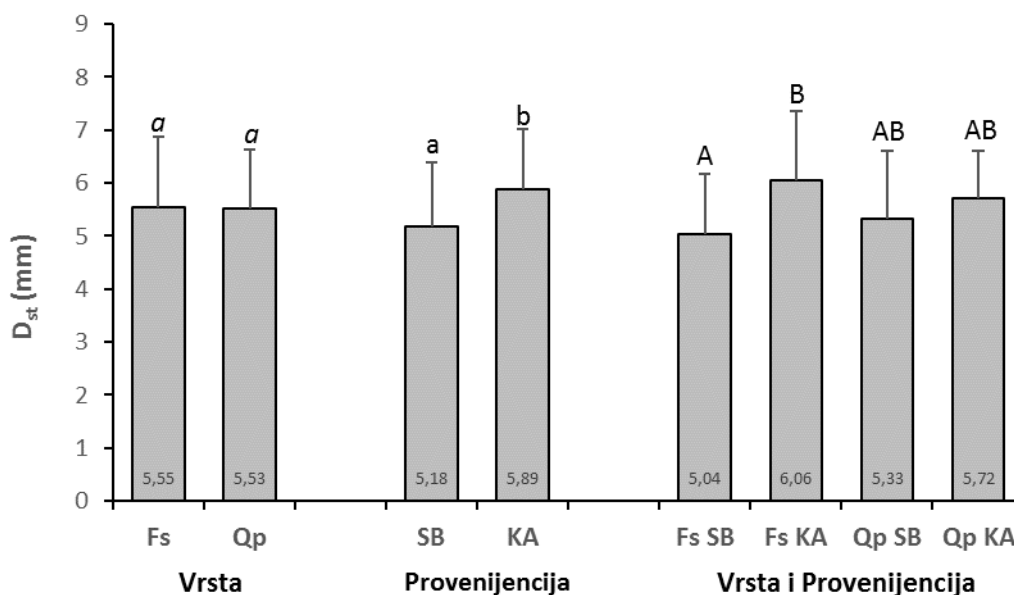
Provenijencija je signifikantno utjecala na sve parametre rasta Dst, Hst i Lko (Tablica 2.) To znači da je pomladak iz provenijencije Karlovac u odnosu na pomladak iz provenijencije Slavonski Brod ima signifikantno veći Dst (za 7 %) i Lko (za 11 %) te signifikantno manju Hst (za 12 %), (Slike 2,3 i 4).

Utjecaj provenijencije signifikantno je vidljiv sam na jednome parametru rasta KKst a na ostalim parametrima rasta produkcija je bila podjednaka (SKst, STst i UKst), (Tablica 2). Pomladak iz provenijencije Karlovac u odnosu na pomladak iz provenijencije Slavonski Brod ima signifikantno veći STkk (za 5%). (Slike 5, 6, 7 i 8).

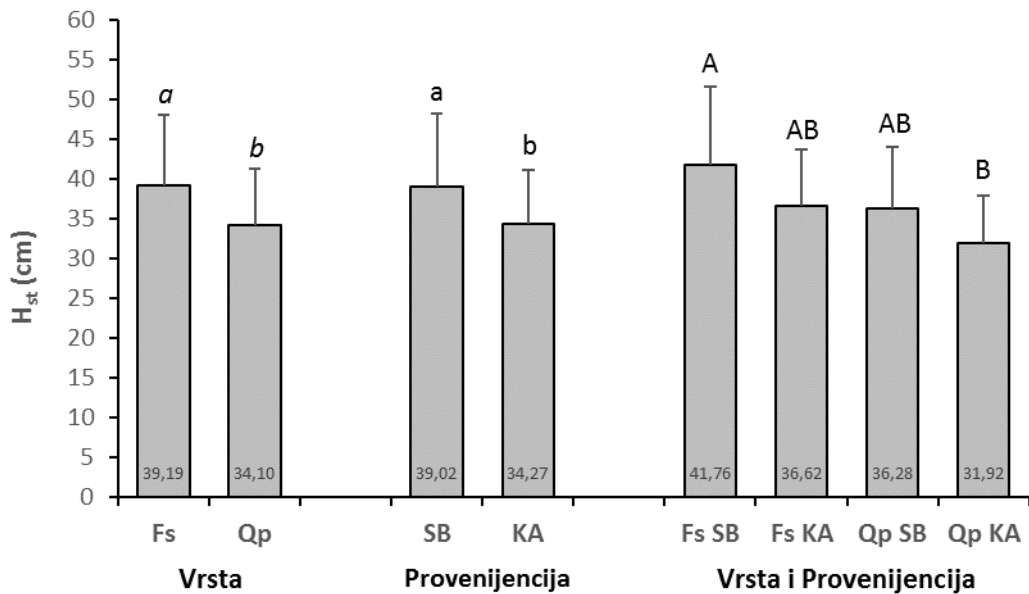
Alometrijski rast (Dst/Hst, Lko/Hst i KKst/STst) bio je signifikantno utjecan provenijencijom sa koje potječe (Tablica 2). Što znači da je pomladak iz provenijencije Karlovac u odnosu na pomladak iz provenijencije Slavonski Brod imao signifikantno veća sav tri odnosa koja smo usporedili (Dst/Hst,



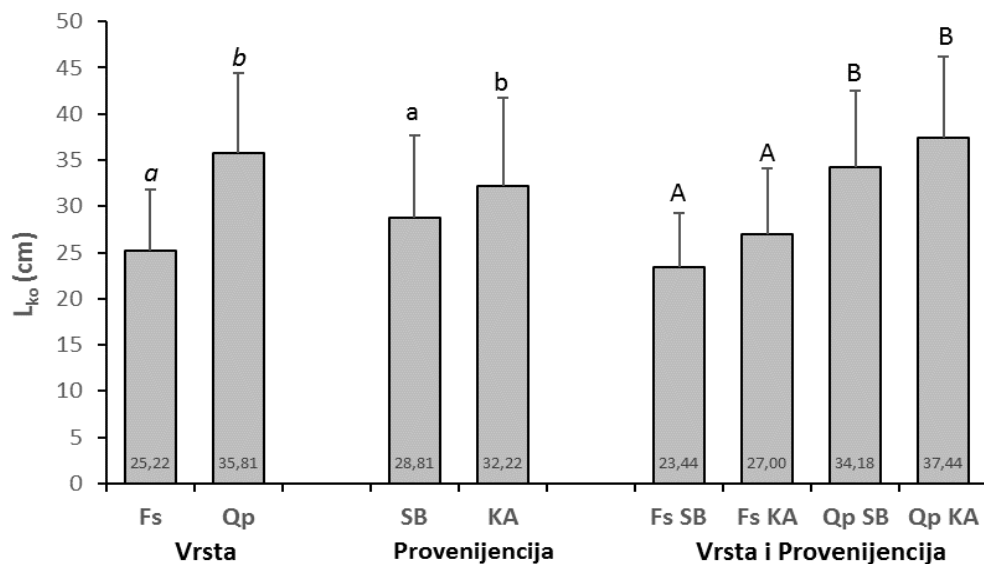
Lko/Hst i KKst/STst) (Slike 9, 10 i 11). Gledajući to, pomladak iz provenijencije Karlovac u odnosu na pomladak iz provenijencije Slavonski Brod ima veći promjer stabljike na vratu korijena i duži korijen, a također i dubljim zakorijenjvanjem u odnosu na pretpostavljenu istu visinu stabljike kod obje provenijencije, odnosno većom masom suhe tvari korijena u odnosu na pretpostavljenu istu masu suhe tvari stabljike u obje provenijencije. U skladu s tim, kod pomlatka iz provenijencije Karlovac 65% ukupne mase suhe tvari otpada na korijen a ostatak koji čini 35% čini stabljika, a kod pomlatka iz provenijencije Slavonski Brod 63% čini masa suhe tvari korijena a ostali dio od 37% masa suhe tvari stabljike.



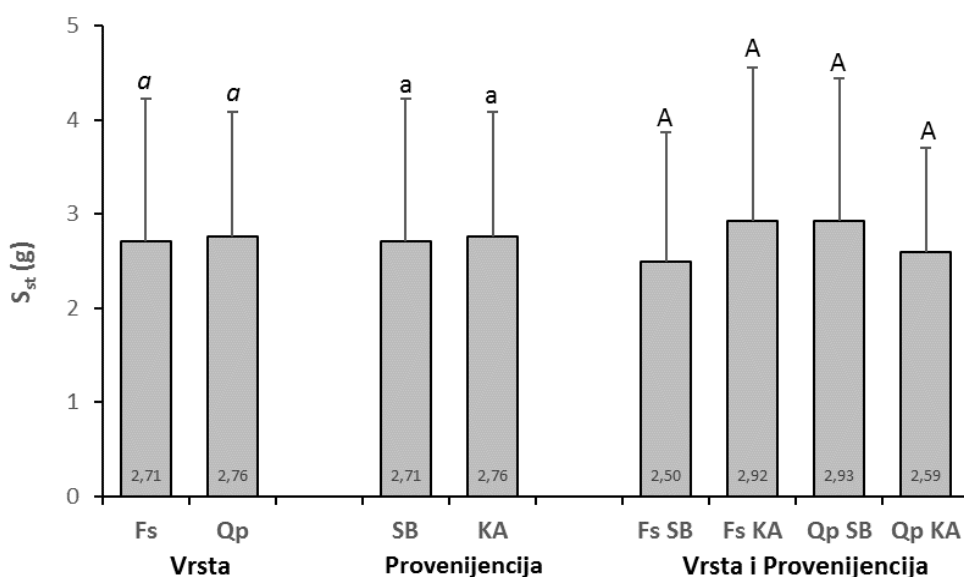
**Slika 2.** Prosječni promjer stabljike na vratu korijena ( $D_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonski Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



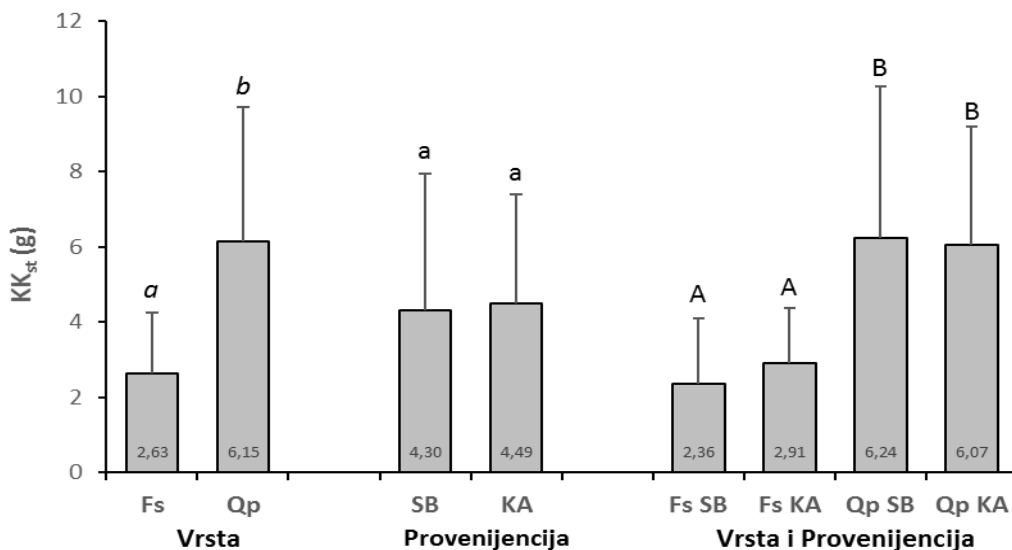
**Slika 3.** Prosječna visina stabljike ( $H_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonki Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD



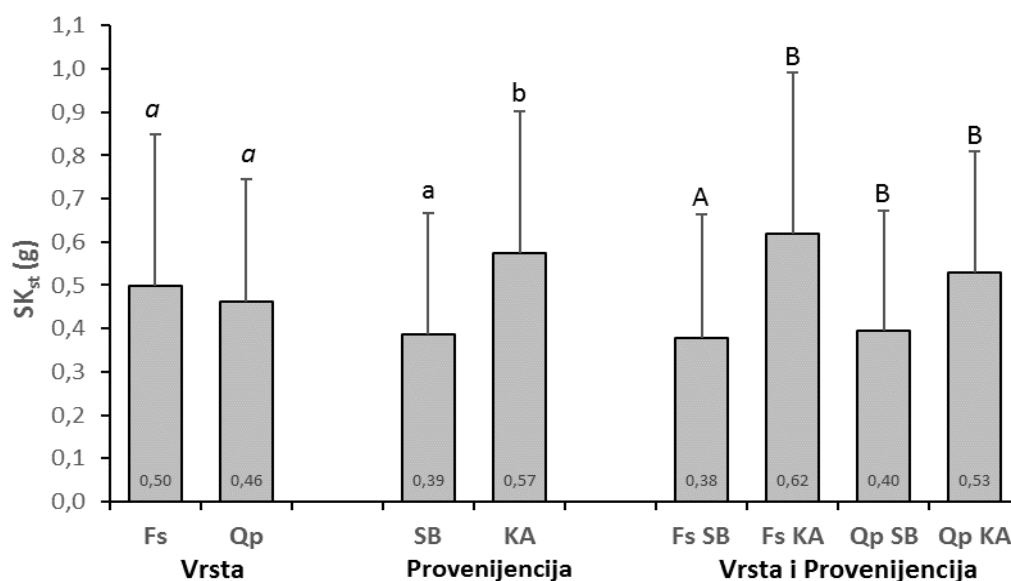
**Slika 4.** Prosječna dužina korijena ( $L_{ko}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonki Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



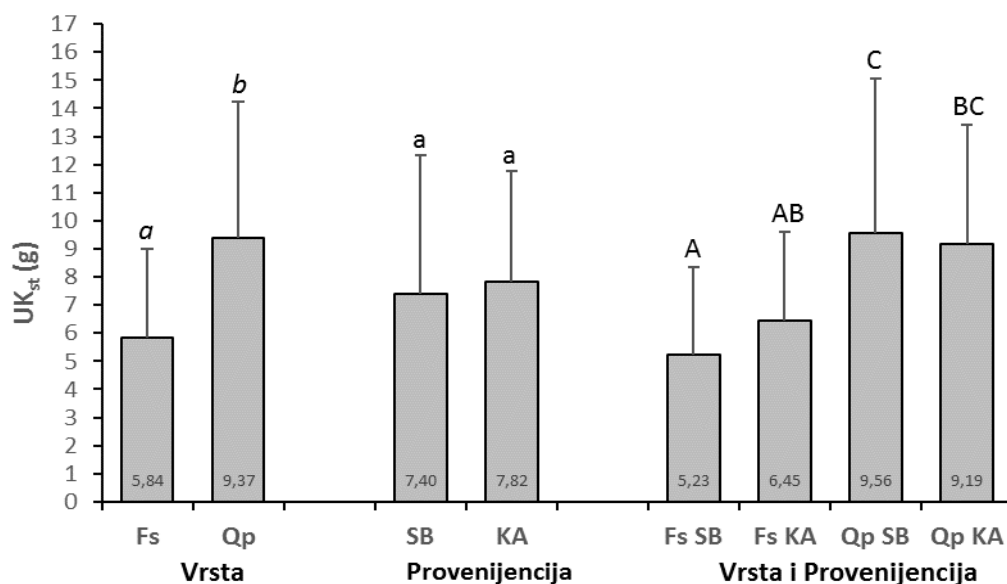
**Slika 5.** Prosječna masa suhe tvari stabljike ( $ST_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonki Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



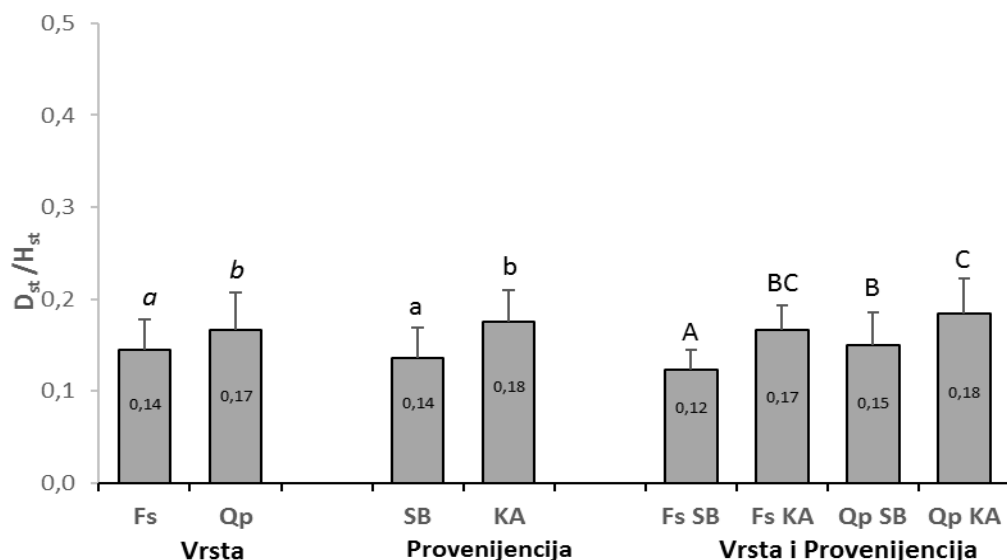
**Slika 6.** Prosječna masa suhe tvari krupnoga korijena ( $KK_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonki Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



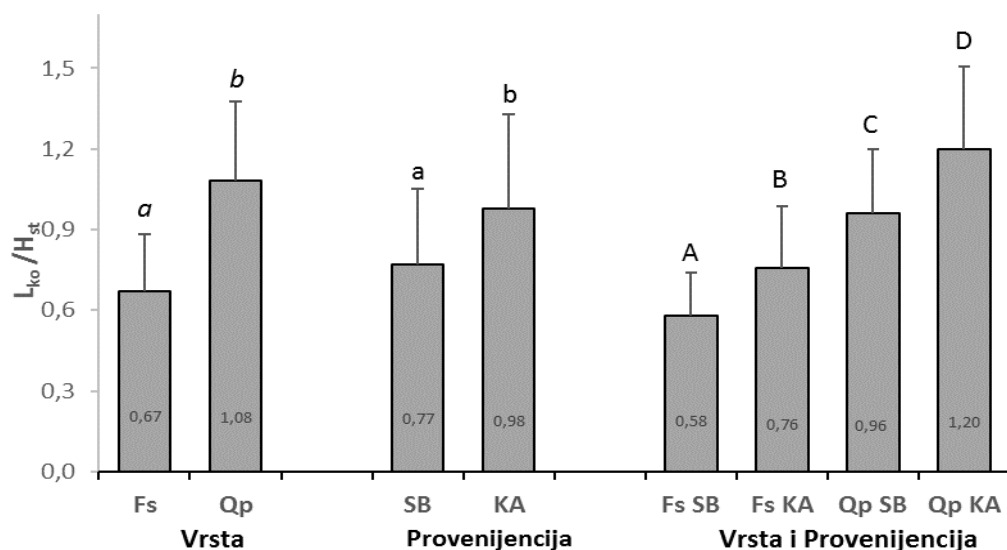
**Slika 7.** Prosječna masa suhe tvari sitnoga korijena ( $SK_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonki Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



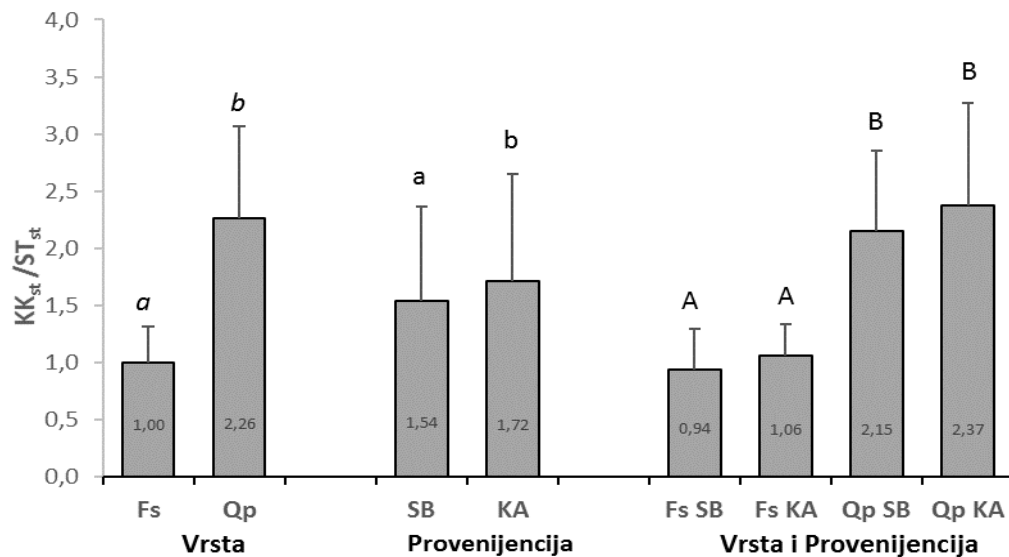
**Slika 8.** Prosječna masa ukupne suhe tvari ( $UK_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonki Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



**Slika 9.** Prosječna vrijednost omjera promjera vrata korijena i visine stabljike ( $D_{st}/H_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonski Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



**Slika 10.** Prosječna vrijednost omjera između dužine glavnog korijena i visina stabljike ( $L_{ko}/H_{st}$ ) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonski Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.



**Slika 11.** Prosječna vrijednost omjera između mase suhe tvari krupnog korijena i masa suhe tvari stabljike (KK<sub>st</sub>/ST<sub>st</sub>) pomlatka obične bukve (Fs) i hrasta kitnjaka (Qp) porijeklom iz provenijencija Karlovac (KA) i Slavonski Brod (SB). Različita mala slova u kurzivu ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta, različita uspravna mala slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između provenijencija, a različita velika slova ukazuju na signifikantne razlike ( $p < 0,05$ ) između vrsta s obzirom na njihovu pripadnost provenijencijama. Vertikalne linije ukazuju na  $\pm$  SD.

## 5. RASPRAVA

### 5.1. Razlike između vrsta

Genetski uvjetovani obrazac hrasta kitnjaka da ulaže veće količine svojih resursa u korijen na užtrb stabljike, što je posljedica evolucije vrsta iz roda *Quercus* na sušnim staništima i/ili u sušnim uvjetima (Kremer i Petit, 1993) potvrđen je i ovim istraživanjem. Prema tome, signifikantno veća produkcija KKst, odnosno signifikantno veća Lko kod kitnjakova u odnosu na bukov pomladak (Tablica 2) ukazuje da kitnjak na početku svoga života u odnosu na bukvu ulaže veće količine resursa u rast krupnog korijena (pogotovo žile srčanice) s ciljem dosezanja što dubljih slojeva tla i što efikasnijeg usvajanja vode i mineralnih hranjiva iz tla (Arend i dr. 2011; Kuster i dr. 2013). To mu pomaže da smanji negativan utjecaja transpiracije na gubitak vode iz svoga tkiva i/ili da poveća osmotsku prilagodbu svoga tkiva usljed suše (Thomas i Gausling, 2000). U našem slučaju, to je moglo pridonijeti efikasnoj fotosintezi (asimilaciji CO<sub>2</sub>) i produkciji ugljikohidrata kod kitnjakova u odnosu na bukov pomladak što je u konačnici rezultiralo signifikantno većom UKst kod kitnjakova u odnosu na bukov pomladak (Tablica 2). U prilog ovoj pretpostavci idu rezultati ranijeg istraživanja provedenoga u mješovitoj sastojini hrasta kitnjaka i obične bukve prema kojima pod utjecajem istih okolišnih uvjeta tijekom vegetacijskoga razdoblja kitnjak u odnosu na bukvu ima signifikantno veću stopu asimilacije CO<sub>2</sub> (Raftoyannis and Radoglou 2002). Uz to, rezultati ranijih istraživanja provedenih u eksperimentalnim uvjetima na mladim biljkama hrasta lužnjaka i obične bukve ukazuju da lužnjak u odnosu na bukvu pod utjecajem istih okolišnih uvjeta također ima veću produkciju ukupne biomase (Hees 1997) i veći omjer mase suhe tvari i/ili dužine korijena u donosu na masu suhe tvari i/ili dužinu stabljike (Ammer 2003). Naš rezultat prema kojemu kitnjakov u odnosu na bukov pomladak ima signifikantno veći omjer Dst/Hst, Lko/Hst i STkk/STst (Tablica 2) u skladu je s rezultatima prethodno spomenutog istraživanja (Ammer 2003). To dodatno potvrđuje činjenicu da vrste iz roda *Quercus* (uključujući i hrast kitnjak) na početku svoga života za razliku od sebi konkurentskih vrsta (uključujući i običnu bukvu) ulažu veće količine resursa u korijen na užtrb stabljike. Međutim, nešto veća (ali ne i signifikantno) SKst kod bukova u odnosu na kitnjakov pomladak (Tablica 2), u skladu je s rezultatima ranijih istraživanja prema

kojima u prirodnoj mješovitoj sastojini pri istim okolišnim uvjetima obična bukva ima veću masu suhe tvari sitnoga korijenja u odnosu na hrast kitnjak (Leuschner et al. 2001). Uz to, Jagodzinski et al. (2016) u svom su istraživanju također utvrdili da mlade bukove sastojine imaju veću masu suhe tvari sitnog korijenja nego lužnjakove sastojine, analizirajući prvih 30 cm tla, što je potpuno kompatibilno s našim istraživanjem.

## 5.2. Razlike između provenijencija

Genetski uvjetovani obrazac provenijencija šumskoga drveća koje potječu sa suših staništa da ulažu veće količine svojih resursa u korijen na uštrb stabljike (Barbaroux i dr. 2003; Arend i dr. 2011; Kuster i dr. 2013 ), ovim istraživanjem nije potvrđen. Na to ukazuju signifikantno veća Lko (Slika 4), signifikantno manja Hst (Slika 3), odnosno signifikantno veći omjer Lko/Hst (Slika 10) kod nešto vlažnije provenijencija KA u odnosu na nešto sušu provenijenciju SB (Tablica 1 i Slika 1). Međutim, u provenijenciji KA ponuda mineralnih hranjiva u tlu signifikantno je niža u odnosu na provenijenciju SB (Slika 1). Prema rezultatima ranijih istraživanja niže koncentracije mineralnih hranjiva u tlu potiču dublje zakorijenjivanje i/ili intenzivniji razvoj sitnog korijenja kod šumskog drveća (Leuchner i dr. 2001b; Leuchner 2020) što se u našem slučaju moglo odraziti na pomladak obiju vrsta. U skladu s gore navedenim, SKst u provenijenciji KA s nižom koncentracijom mineralnih hranjiva u tlu bila je signifikantno viša u odnosu na provenijenciju SB (Slika 7). Međutim, SKst kitnjakova pomlatka nije se signifikantno razlikovala između provenijencija, dok je SKst bukova pomlatka bila signifikantno viša u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB (Slika 7). To je u skladu s rezultatima ranijih istraživanja prema kojima obična bukva ima mnogo izraženiju dinamiku odumiranja i produkcije sitnoga korijenja tijekom vegetacijskog razdoblja u odnosu na hrast kitnjak (Leuchner i dr. 2001a) što je moglo rezultirati signifikantnim razlikama između istraživanih provenijencija s obzirom na SKst.

Signifikantno veći Dst i signifikantno manja Hst, odnosno signifikantno veći omjer Dst/Hst u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB (Tablica 2), što je utvrđeno kod obje vrste (Tablica 2) ukazuje da pomladak iz provenijencije KA ima veću mehaničku stabilnost. Prema Moore et al. (2008) to bi ga trebalo činiti otpornijim na olujna nevremena i visoke snježne nanose. S obzirom da je prosječna



maksimalna visina snijega u mjesecima sa snježnim pokrivačem u provenijenciji KA veća nego u provenijenciji SB za čak 44 % (Tablica 2) moguće je pretpostaviti da je takav rezultat posljedica evolucijske prilagodbe provenijencije KA na veće količine snijega tijekom zimskih mjeseci.

## 6. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima ovoga istraživanja rast (dubina zakorijenjivanja) i produkcija suhe tvari podzemnog dijela (krupno korijenje) bila je daleko izraženija kod pomlatka hrasta kitnjaka u odnosu na pomladak obične bukve, dok su rast i produkcija suhe tvari stabljike bili podjednaki kod pomlatka obiju vrsta. Takav rezultat u skladu je s činjenicama prema kojima vrste iz roda *Quercus* (uključujući i hrast kitnjak) na početku svoga života za razliku od sebi konkurentskih vrsta (uključujući i običnu bukvu) ulažu veće količine resursa u korijen na uštrb stabljike.

Utjecaj različite količine oborina u provenijenciji SB (manje oborina i/ili nešto suši uvjeti staništa) i provenijenciji KA (više oborina i/ili nešto vlažniji uvjeti) na rast i produkciju suhe tvari istraživanoga pomlatka nije se odrazio na očekivani način. Suprotno od očekivanoga, rast (dubina zakorijenjivanja) i produkcija suhe tvari podzemnog dijela (krupno i sirno korijenje) bila je daleko izraženija u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB, vrlo vjerojatno zbog nižih koncentracija mineralnih hranjiva u tlu provenijencije KA što potiče intenzivniji rast korjenova sustava. Većim vrijednostima alometrijskog rasta stabljike, zbog većeg promjera na vratu korijena i manje visine odlikovao se pomladak iz provenijencije KA što ga u odnosu na pomladak iz provenijencije SB čini stabilnijim i otpornijim na mehanička oštećenja. U određenoj mjeri to odražava utjecaj dugogodišnjih klimatskih prilika (visine snježnog pokrivača) na rast stabljike istraživanog pomlatka.

## 7. LITERATURA

1. Cutíni, G., Mercurio, R., 1997: Growth and development of sessile oak (*Quercus petraea*) and turkey oak (*Quercus cerris*) seedlings in response to varying light and soil moisture conditions. *Goenoses*, 12(1): 27 – 32.
2. Kojić, M., 1987: Fiziološka ekologija kulturnih biljaka, Naučna knjiga, Beograd, 1 – 174.
3. Genet, H., Bréda, N., Dufrêne E., 2009: Age-related variation in carbon allocation at tree and stand scales in beech (*Fagus sylvatica* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) using a chronosequence approach. *Tree physiology*, 30: 177 – 192.
4. Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske, Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu, grad Zagreb, 1– 403.
5. Vukelić J. i Rauš Đ. 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj, Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu, grad Zagreb, 1 – 310.
6. Klepac D., 1986: Uvodni referat na Simpoziju o bukvi. U: A.P:Krupan B.(ur.), Kolokvij o bukvi, Šumarski fakultet, Zagreb, str 11-15.
7. Broadmeadow M.S.J. i Jackson S.B., 2000: Growth responses of *Quercus petraea*, *Fraxinus excelsior* and *Pinus sylvestris* to elevated carbon dioxide, ozone and water supply. *New Phytologist*, 146: 437 – 451.
8. Arend M.,Kuster T.,Günthardt-Goerg M.S. i Dobbertin M., 2014: Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*). *Tree physiology*, 31: 287 – 297.
9. Weemstra M., Sterck F.J., Visser E.J.W.,Kuyper T.W. ,Goudzwaard L., Mommer L., 2017: Fine-root trait plasticity of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) forests on two contrasting soils. *Plant and Soil*, 415: 175 – 188.

10. Prpić B, 2003: Općekorisna uloga bukovih šuma. U: S. Matić (ur.), Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 213 – 221 str.
11. Harmer R. ,1990 : Relation of shoot growth phases in seedling oak to development of the tap root, lateral roots and fine root tips. *New Phytologist*, 115: 23 – 27.
12. Kuster T.M. , Arend M., Günthardt-Goerg M.S.,Schulin R., 2013: Root growth of different oak provenances in two soils under drought stress and air warming conditions. *Plant and Soil*, 369: 61– 71.
13. Trinajstić I., 2003: Taksonomija, morfologija i rasprostranjenost obične bukve. U: S. Matić (ur.), Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 33 – 47 str.
14. Kremer A., Petit R.J., 1993: Gene diversity in natural populations of oak species. *Annals of Forest Science*, 5: 186 – 202.
15. Thomas F.M., Gausling T., 2000: Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science*, 57: 325 – 333.
16. Moore J.R., Tomblinson J.D.,Turner J.A. and Van der Colff M., 2008 :Wind effects on juvenile trees: a review with special reference to toppling of radiata pine growing in New Zealand. *Forestry*, 81: 377 – 387.
17. Leuschner C., 2020: Drought response of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Plant Ecology*, University of Goettingen, Germany.
18. Jagodzinski A.M., Ziółkowski M.,Warnkowska A., Prais H., 2016: Tree Age Effects on Fine Root Biomass and Morphology over Chronosequences of *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* and *Alnus glutinosa* Stands. *PLoS ONE*, 11(2).
19. Barbaroux C.,Bréda N., Dufrêne E., 2003: Distribution of above-ground and below-ground carbohydrate reserves in adult trees of two contrasting broad-leaved species ( *Quercus petraea* and *Fagus sylvatica* ). *New Phytologist*, 157 : 605 – 615

20. Raftoyannis Y., Radoglou K., 2002 : Physiological responses of beech and Sessile Oak in a natural mixed stand during a dry summer. *Annals and Botany*, 89 : 723– 730.