

FUNKCIONALNA PRILAGODBA PRIRODNOG POMLATKA HRASTA KITNJAKA I OBIČNE BUKVE NA RAZLIČITE STANIŠNE PRILIKE

FUNCTIONAL ADAPTATION OF NATURAL SESSILE OAK AND COMMON BEECH SAPLINGS ON DIFFERENT HABITAT CONDITIONS

Krunoslav SEVER¹, Antonia VUKMIROVIĆ¹, Luka HODAK², Saša BOGDAN¹, Ida KATIČIĆ BOGDAN¹,
Daniel KRSTONOŠIĆ¹, Tomislav KARAŽIJA³, Jozo FRANJIĆ¹ i Željko ŠKVORC¹

SAŽETAK

Cilj ovoga rada bio je usporediti dvije mješovite sastojine (provenijencije) obične bukve i hrasta kitnjaka, iz istočne (provenijencija Slavonski Brod - SB) i sjeverozapadne (provenijencija Karlovac - KA) Hrvatske, s obzirom na klimatske i edafske prilike te raspraviti njihov utjecaj na rast i produkciju suhe tvari prirodnog pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve u kontekstu njegove funkcionalne prilagodbe na prethodno spomenute stanišne prilike. Glavna razlika između provenijencija s obzirom na klimatske prilike ogleda se u prosječno većoj količini oborina na području provenijencije KA. Unatoč tomu, zbog nepovoljnog rasporeda oborina za vrijeme rasta i razvoja istraživanog pomlatka u razdoblju 2016. – 2020. godine područje provenijencije KA odlikovalo se učestalijom pojavom sušnih perioda nego područje provenijencije SB. S obzirom na edafske prilike (fizikalne i kemijske značajke tla) provenijencije se nisu značajnije razlikovale. Međutim, tlo provenijencije KA odlikovalo se nešto lakšom strukturom (manje gline i više skeleta) u odnosu na tlo provenijencije SB. Razlike između provenijencija i vrsta s obzirom na cijeli niz mjerenih parametara koji opisuju rast i produkciju suhe tvari istraživanog pomlatka uključujući i njihove alometrijske odnose ispitan je pomoću dvofaktorske ANOVA-e. Dobiveni rezultati ukazuju da je pomladak iz provenijencije KA ulagao više suhe tvari u rast i razvoj korijenja s posebnim naglaskom na sitno korijenje i pri tom se dublje zakorjenjivao te razvijao deblju i nižu stabljiku nego pomladak iz provenijencije SB. To ukazuje da je pomladak iz provenijencije KA funkcionalno prilagođeniji sušem staništu. Takav rezultat mogao bi biti posljedica različito ispoljene fenotipske modifikacije (reakcije na sušu) i/ili stvarnih genetskih razlika između provenijencija, što ovom prilikom nije bilo moguće točnije razlučiti. Dobivene razlike u rastu i produkciji suhe tvari između kitnjakova i bukova pomlatka odgovaraju već otprije poznatom načinu njihove funkcionalne prilagodbe na vlažnost, odnosno suhoću staništa. To znači da se kitnjakov pomladak dublje zakorjenjivao i pri tom je više suhe tvari ulagao u rast krupnog korijenja u odnosu na bukova pomladak koji se pliće zakorjenjivao i pri tom više suhe tvari ulagao u rast sitnog korijenja.

KLJUČNE RIJEČI: *Quercus petraea* L., *Fagus sylvatica* L., suša, alometrijski odnosi rasta, suha tvar, sitno korijenje, krupno korijenje, stabljika

¹ Doc. dr. sc. Krunoslav Sever, Antonia Vukmirović, mag. ing. silv., prof. dr. sc. Saša Bogdan, doc. dr. sc. Ida Katičić Bogdan, izv. prof. dr. sc. Daniel Krstonošić, Jozo Franjić, Željko Škvorc, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku Svetošimunska cesta 23, 1000 Zagreb

² Luka Hodak, univ. bacc. ing. silv., Donji Meljani 2, 33520 Slatina

³ Doc. dr. sc. Tomislav Karažija, Agronomski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za ishranu bilja, Svetošimunska cesta 25, 1000 Zagreb

Korespondencija: Željko Škvorc, skvorc@sumfak.hr

UVOD INTRODUCTION

U Republici Hrvatskoj obična bukva i hrast kitnjak tvore čiste i/ili mješovite šumske sastojine koje se odlikuju vrlo visokom ekonomskom, ekološkom i socijalnom vrijednošću (Vukelić 2012). Glavninu mješovitih sastojina obične bukve i hrasta kitnjaka susrećemo u brežuljkastom vegetacijskom pojasu kojemu pripadaju brežuljci i donji dijelovi panonskog gorja, te područja južnije od Karlovca u smjeru Gorskog kotara i Like (Vukelić i Rauš 1998). Prema tome, mješovite sastojine obične bukve i hrasta kitnjaka u Republici Hrvatskoj pridolaze na staništima koja se odlikuju različitom godišnjom količinom oborina od oko 700 mm na području istočne Hrvatske do oko 1200 mm na području sjeverozapadne Hrvatske (Seletković i Katusin 1992, Vukelić 2012).

Prema trenutnim spoznajama vlažnost staništa koju između ostaloga definira i količina oborina ima značajan utjecaj na rast i produkciju suhe tvari kod šumskoga drveća (Scharnweber i dr. 2011, Fortin 2019). To potvrđuju rezultati ranijih istraživanja provedenih u prirodnim i/ili eksperimentalnim uvjetima prema kojima dostupna količina vlage pozitivno utječe na cjelokupan rast i produkciju suhe tvari kod velikog broja europskih vrsta šumskoga drveća (uključujući običnu bukvu i hrast kitnjak), kako u odrasloj dobi tako i u početnim fazama njegova razvoja (Cutini i Mercurio 1997, Hees 1997, Dobbertin i dr. 2010, Arend i dr. 2011, Scharnweber i dr. 2011, Knutzen i dr. 2015, Anić i dr. 2018, Meier i dr. 2018, Fortin 2019). Uz vlažnost staništa, njegove edafske prilike (mehanički sastav, te fizikalne i kemijske značajke tla) također imaju značajan utjecaj na rast i produkciju suhe tvari kod šumskoga drveća. To pak potvrđuju rezultati ranijih istraživanja prema kojima; sadržaj gline i skeleta (Angers i Caron 1998, Bécel i dr. 2012, Weemstra i dr. 2017), različita gustoća i poroznost (Day i Bassuk 1994, Kormanek i dr. 2015, Twum i Nii-Annang 2015), prozračnost i retencijski kapacitet za vodu (Bréda i dr. 1995, Zapater i dr. 2011) te sadržaj mineralnih hraniva u tlu (Thomas 2000, Wright i dr. 2011, Buhk i dr. 2016) u značajnoj mjeri utječu na rast i produkciju suhe tvari pojedinih vegetativnih organa i/ili šumskoga drveća u cijelosti.

Sastavni dio cjelokupnog fiziološkog odgovora biljaka i šumskoga drveća na različitu vlažnost staništa i/ili njegove edafske prilike je izmjena njegova alometrijskog rasta, uvjetovana različitim brzinom rasta korijena odgovornoga za prikupljanje podzemnih resursa (voda i mineralna hraniva) u odnosu na stabljiku s pripadajućim lišćem odgovornih za prikupljanje nadzemnih resursa (svjetlost i CO₂), (Bloom i dr. 1985, Enquist i Niklas 2002, Verónica i dr. 2009, Lynch i dr. 2012, Mao i dr. 2012). Prema tome, šumsko drveće koje raste na sušim staništima i/ili staništima siromašnim s mineralnim hranivima ulaže relativno mnogo svoje ukupno

producirane suhe tvari u razvoj snažanog i dubokog korijenja na uštrb stabljike, kako bi si osiguralo što uredniju opskrbu s vodom i mineralnim hranivima. S druge strane, šumsko drveće koje raste na vlažnijim staništima i/ili staništima koja su bogata s mineralnim hranivima relativno mnogo svoje ukupne suhe tvari ulaže u razvoj snažne i visoke stabljike na uštrb korijenja, kako bi si osiguralo što povoljniji položaj u sastojini s ciljem prikupljanja što veće količine svjetlosne energije i asimilacije CO₂ (Craine i Dybzinski 2013) za čime u šumskim sastojinama postoji velika konkurencija između pripadnika iste i/ili različitih vrsta (Nambiar i Sands 1993). Na taj se način šumsko drveće prilagođava specifičnim stanišnim prilikama s ciljem što učinkovitijeg prevladavanja kritičnih čimbenika (nedostatak vlage, mineralnih hraniva, svjetlosti i sl.) koji ograničavaju njegov rast na datom staništu (Bloom i dr. 1985, Larcher 2003). Prethodno navedeno predstavlja jedan od načina funkcionalne prilagodbe šumskoga drveća na specifične stanišne prilike, što je moguće determinirati na temelju analize njegova alometrijskog rasta i/ili produkcije suhe tvari (Enquist i Niklas 2002, Verónica i dr. 2009, Madrigal-González i dr. 2017).

Bez obzira na to što često pridolaze na istom staništu, obična bukva i hrast kitnjak u kontekstu rasta i produkcije suhe tvari imaju potpuno drukčiju funkcionalnu prilagodbu s ciljem prevladavanja kritičnih stanišnih čimbenika. To se ogleda u činjenici da kitnjak u odnosu na bukvu mnogo više resursa ulaže u razvoj krupnog korijenja s ciljem što dubljeg zakorijenjivanja, dok bukva u odnosu na kitnjak mnogo više resursa ulaže u produkciju sitnog korijenja u plićim slojevima tla (Leuschner i dr. 2001a, Rewald i Leuschner 2009, Allen 2015, Meier i dr. 2017, Leuschner 2020). To znači da je kitnjak primarno orijentiran na usvajanje vode uskladištene u dubljim slojevima tla pomoću žile srčanice, a bukva na usvajanje oborinske vode i vode uskladištene u plićim slojevima tla pomoću sitnog korijenja (Leuschner i dr. 2001b, Rewald i Leuschner 2009, Pajtlík i dr. 2011). U skladu s tim, na sušim i toplijim mikrolokalitetima (ocjediti plići grebeni i južne padine) brežuljkastog vegetacijskog pojasa dominira kitnjak, a na vlažnijim i hladnijim mikrolokalitetima (duboki vlažni jarci i sjeverne padine) dominira bukva (Vukelić i Rauš 1998). Takva struktura mješovitih bukovo-kitnjakovih sastojina dobrim dijelom je određena već u početnim fazama njihova razvoja kada je konkurencija između pripadnika iste ili različitih vrsta za resurse u tlu (voda i mineralna hraniva) i svjetlosnu energiju najizraženija (Ostrogović i dr. 2010). Tu pretpostavku potvrđuju rezultati ranijih istraživanja prema kojima je prirodna struktura mješovitih šumskih sastojina usko povezana s funkcionalnom prilagodbom prirodnog pomlatka na date stanišne prilike (Shigesada i dr. 1979, Gotelli i McCabe 2002). Iz tog razloga, rast i produkciju suhe tvari kod obične bukve i hrasta kitnjaka prilično je važno poznavati u razvojnom stadiju pomlatka, o čemu u domaćoj literaturi ne postoji mnogo podataka.

S obzirom na to, cilj ovoga rada bio je ispitati utjecaj klimatskih i edafskih prilika u dvije mješovite sastojine (provenijencije) obične bukve i hrasta kitnjaka iz istočne i sjeverozapadne Hrvatske na funkcionalnu prilagodbu rasta i produkcije suhe tvari njihova prirodnog pomlatka.

MATERIJALI I METODE MATERIAL AND METHODS

Biljni materijal i područje istraživanja – *Plant material and study site*

Istraživanje je provedeno je na mladim biljkama obične bukve i hrasta kitnjaka u razvojnem stadiju mlađeg pomlatka porijeklom iz dviju zrelih mješovitih sastojina (provenijencija) hrasta kitnjaka i obične bukve iz kontinentalnog dijela Republike Hrvatske. Jedne iz njezina sjeverozapadnog dijela u blizini Karlovca (KA), a druge iz njezina istočnog dijela u blizini Slavonskog Broda (SB), (Tablica 1).

Uzorkovanje (iskapanje) pomlatka u obje provenijencije obavljeno je početkom ožujka 2021. godine na površini približne veličine 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. 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 buseom tla približnih dimenzija 40 x 40 x 50 cm kako bi se izbjeglo oštećenje korijenova sustava.

Geomorfološke, klimatske i vegetacijske značajke – *Geomorphological, climatic and vegetation traits*

Prilikom fitocenološkog snimanja flornog sastava s ciljem utvrđivanja sintaksonomske pripadnosti šumskih zajednica u istraživanim provenijencijama obavljen je i opis osnovnih geomorfoloških značajki istraživanog područja, što je u obje provenijencije obavljeno tijekom lipnja 2021. godine.

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).

Ostali podaci koji preciznije opisuju klimatske prilike u istraživanim provenijencijama; srednja godišnja temperatura zraka (T_{go}), srednja temperatura zraka u vegetacijskom razdoblju (T_{vr}), srednja godišnja količina oborina (OB_{go}), srednja količina oborina u vegetacijskom razdoblju (OB_{vr}), broj dana u godini sa snijegom (S_d) i srednja mjesečna maksimalna visina snijega u mjesecima sa snježnim pokrivačem ($S_{v\ max}$) preuzeti su od Hrvatskog hidrometeorološkog zavoda s najbližih meteoroloških postaja (Slavonski Brod i Karlovac) za razdoblje 1949. – 2019. godine (https://meteo.hr/klima_e.php?section=klima_podaci¶m=k1). Podaci koji opisuju meteorološke prilike u istraživanim provenijencijama za razdoblje 2016. – 2020. godine te podaci na temelju kojih je izračunat standardizirani oborinski indeks na bazi tri mjeseca (SPI3) za razdoblje 1964. – 2020. godine preuzeti su iz pravilne prostorne mreže visoke rezolucije E-OBS baze podataka (Cornes i dr. 2018) te ažurirane verzije CroMonthlyGrids (Perčec-Tadić 2010). Granične vrijednosti izračunatog SPI3 koje ukazuju na odstupanja količine oborina od normale uvjetovanoga različitim rasporedom oborina su < -1,0 i 1,0. To znači da vrijednosti SPI3 manje od -1,0 ukazuju na umjereno sušne, vrlo sušne i ekstremno sušne prilike, a veće od 1,0 na umjereno kišne, vrlo kišne i ekstremno kišne prilike.

Uzorkovanje tla – *Soil sampling*

Prilikom iskapanja pomlatka u obje provenijencije obavljeno je uzorkovanje tla s ciljem utvrđivanja njegova mehaničkog sastava te fizikalnih i kemijskih značajki. Uzorci tla na temelju kojih je utvrđen mehanički sastav i kemijske značajke tla prikupljeni su pomoću pedološkog (obalnog) svrdla, a uzorci na temelju kojih su utvrđene fizikalne značajke tla prikupljeni su pomoću cjevaste sonde (Kopeckyjevih cilindara). Za mehanički sastav i kemijske značajke tla u svakoj provenijenciji ukupno je prikupljeno po 6 kompozitnih uzoraka. Od toga, po tri uzorka sa dubine 0 – 15 cm i tri uzorka sa dubine 16 – 30 cm. Prema tome, u obje provenijencije ukupno je sakupljeno 12 kompozitnih uzoraka. Svaki kompozitni uzorak bio je formiran od devet pojedinačnih uzoraka sakupljenih u dijagonalnom (X) rasporedu uzorkovanja. Na centralnoj poziciji svakog dijagonalnog (X) uzorkovanja otvoren je profil tla iz kojega su pomoću Kopeckyjevih cilindara izvađena po tri uzorka tla sa dubine 0 – 15 cm i tri uzorka sa dubine 16 – 30 cm. Prema tome, pomoću Kopeckyjevih cilindara u svakoj provenijenciji prikupljeno je 18 uzoraka (ukupno 36 uzoraka u obje provenijencije) na temelju kojih su utvrđene fizikalne značajke tla na dvije dubine uzorkovanja (0 – 15 i 16 – 30 cm). S obzirom na blage nagibe terena prva lokacija uzorkovanja bila je smještena na najvišem dijelu, druga na srednjem, a treća na najnižem dijelu odabranih sastojina. Lokacije uzorkovanja unutar svake provenijencije bile su međusobno udaljene oko 50 m.

Laboratorijske analize uzorkovanoga tla – *Laboratory analysis of sampled soil*

Nakon dopremanja u laboratorij uzorci predodređeni za određivanje mehaničkog sastava i kemijskih značajki tla prethodno su osušeni na zraku. Nakon toga su usitnjeni i prosijani kroz sito promjera 2 mm s ciljem odvajanja skeleta od sitnice tla (HRN ISO 11464, 2009). Jedan dio sitnice potom je iskorišten za utvrđivanje mehaničkog sastava tla, metodom prosijavanja i sedimentacije (HRN ISO 11277: 2011).

Drugi dio sitnice korišten je za utvrđivanje kemijskog sastava tla, prilikom čega je reakcija tla (pH) određena potenciometrijski pomoću pH metra HACH EC 30 u suspenziji tla i vode (HRN ISO 10390:2005). Humus je određen metodom po Tjurin-u, a ukupni dušik (N) metodom po Kjeldahl-u (JDPZ 1966). Sadržaj fiziološki aktivnoga fosfora (P_2O_5) i kalija (K_2O) utvrđen je amon-laktatnom metodom (HRN ISO 11261:2004). Fosfor je očitao na UV/VIS spektrofotometru PE Lambda 1A, pri valnoj duljini od 620 nm, dok je koncentracija K_2O izračunata temeljem vrijednosti dobivenih plamen-fotometrijom filtrata. Ukupne zalihe dušika, te fiziološki aktivnog fosfora i kalija u tlima istraživanih provenijencija na dubinama 0 – 15 i 16 – 30 izračunate su na temelju gustoće tla i koncentracije N, P_2O_5 i K_2O .

Iz uzoraka tla prikupljenih pomoću Kopeckyjevih cilindara određena je volumna gustoća tla (HRN ISO 11272:2004) i gustoća čvrstih čestica tla (HRN ISO 11274:2004), dok su retencijski kapacitet tla za vodu, kapacitet tla za zrak i ukupni sadržaj pora u tlu utvrđeni prema Škorić (1986).

Rast i produkcija suhe tvari kod uzorkovanog pomlatka – *Growth and dry mass production at sampled saplings*

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 u trajanju od 24 sata. Nakon toga, svakoj biljci je izmjereno; promjer vrata korijena (D_{st}) što je izraženo u mm, visina stabljike (H_{st}) i dužina glavnog korijena (L_{ko}), na temelju čega je procijenjena dubina zakorijenjivanja što je izraženo u cm. Nakon toga, za svaku je biljku utvrđena masa suhe tvari stabljike (ST_{st}), masa suhe tvari krupnog korijenja promjera većeg od 2 mm (ST_{kk}), masa suhe tvari sitnog korijenja promjera manjeg od 2 mm (ST_{sk}), ukupna masa suhe tvari korijenja (ST_{ko}) i ukupna masa suhe tvari čitave biljke (ST_{uk}) što je izraženo u g. Na temelju prethodno imjerenih parametara rasta i produkcije suhe tvari izračunati su njihovi alometrijski odnosi D_{st}/H_{st} i L_{ko}/H_{st} , odnosno ST_{st}/ST_{uk} , ST_{ko}/ST_{uk} , ST_{kk}/ST_{uk} , ST_{sk}/ST_{uk} i ST_{ko}/ST_{st} . 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.

Statistička analiza – *Statistical analysis*

Sve statističke analize provedene su programskim paketom SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Pomoću Mann-Whitney U testa ispitane su razlike ($p < 0,05$) između provenijencija s obzirom na mehanički sastav te fizikalne i kemijske značajke njihovih tala. Dvofaktorska analiza varijance provedena je s ciljem utvrđivanja signifikantnosti utjecaja provenijencije i vrste na parametre produkcije suhe tvari (ST_{uk} , ST_{st} , ST_{ko} , ST_{kk} i ST_{sk}) i rasta (D_{st} , H_{st} i L_{ko}), te parametre koji opisuju alometrijske odnose rasta (D_{st}/H_{st} i L_{ko}/H_{st}) i produkcije suhe tvari (ST_{st}/ST_{uk} , ST_{ko}/ST_{uk} , ST_{kk}/ST_{uk} , ST_{sk}/ST_{uk} i ST_{ko}/ST_{st}) istraživanog pomlatka. Tukey-ev *post hoc* test proveden je s ciljem utvrđivanja signifikantnih razlika ($p < 0,05$) između provenijencija i vrsta.

REZULTATI RESULTS

Vegetacijske, geomorfološke i klimatske značajke istraživanih provenijencija – *Vegetation, geomorphological and climatic traits of the investigated provenances*

Objek provenijencije pridolaze u brežuljkastom pojasu eurosibirsko-sjevernoameričke vegetacijske regije i pripadaju

Tablica 1. Geografski položaj i klimatske značajke provenijencije Slavonski Brod i Karlovac. Srednja godišnja temperatura zraka (T_{go}), srednja temperatura zraka u vegetacijskom razdoblju (T_{vr}), srednja godišnja količina oborina (OB_{go}), srednja količina oborina u vegetacijskom razdoblju (OB_{vr}), broj dana u godini sa snijegom (S_d) i srednja mjesečna maksimalna visina snijega u mjesecima sa snježnim pokrivačem ($S_{v,max}$) u razdoblju 1949. – 2019. godine, te broj mjeseci u kojima je standardizirani oborinski indeks niži od -1.0 ($SPI3 < -1.0$) u razdoblju 1964. – 2019. godine.

Table 1. Location and climatic characterization of provenances Slavonski Brod and Karlovac. Mean annual temperature (T_{go}), mean growing season temperature (T_{vr}), mean annual precipitation (OB_{go}), mean growing season precipitation (OB_{vr}), number of days with snow (S_d) and mean monthly maximum snow cover in months with snow cover ($S_{v,max}$), for period 1949 – 2019, as well as number of months with standardized precipitation index below -1.0 ($SPI3 < -1.0$), for period 1964 – 2019.

Parametri – <i>Parameters</i>	Slavonski Brod	Karlovac
Koordinate – <i>Cordinates</i>	17.973173 N 45.273451 E	15.524041 N 45.466135 E
Nadmorska visina – <i>Elevation</i>	245	170
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
$SPI3 < -1.0$	113 (49)	105 (50)

Vrijednosti u zagradi odnose se na vegetacijska razdoblja
Values in parentheses refer to growing season

istoj biljnoj zajednici. Odnosno, Ilirskoj šumi hrasta kitnjaka i običnog graba [*Epimedio-Carpinetum betuli* (Ht. 1938) Borhidi 1963]. U obje provenijencije dominiraju blagi nagibi terena (prisojnih ekspozicija) bez izraženih strmih padina.

U razdoblju 1949. – 2019. godine T_{go} i T_{vr} u obje provenijencije bile su podjednake. Međutim, provenijencija SB u odnosu na provenijenciju KA odlikuje se manjom OB_{go} i OB_{vr} , što je na godišnjoj razini bilo više za 31 %, a na razini vegetacijskoga razdoblja za 25 %. Objе provenijencije imaju podjednak S_d . Međutim, S_{vmax} je u provenijenciji KA bila viša u odnosu na provenijenciju SB za čak 44 %. Unatoč prilično različitim OB_{go} i OB_{vr} prema $SPI3 < -1.0$ obje su provenijencije tijekom proteklih 65 godina (u razdoblju 1964. – 2020. godine) imale podjednak broj umjereno do ekstremno sušnih mjeseci, kako na razini godine tako i na razini vegetacijskoga razdoblja (Tablica 1).

Meteorološke prilike istraženih provenijencija u razdoblju 2016. – 2020. godine – *Meteorological conditions of investigated provenances in period 2016 – 2020*

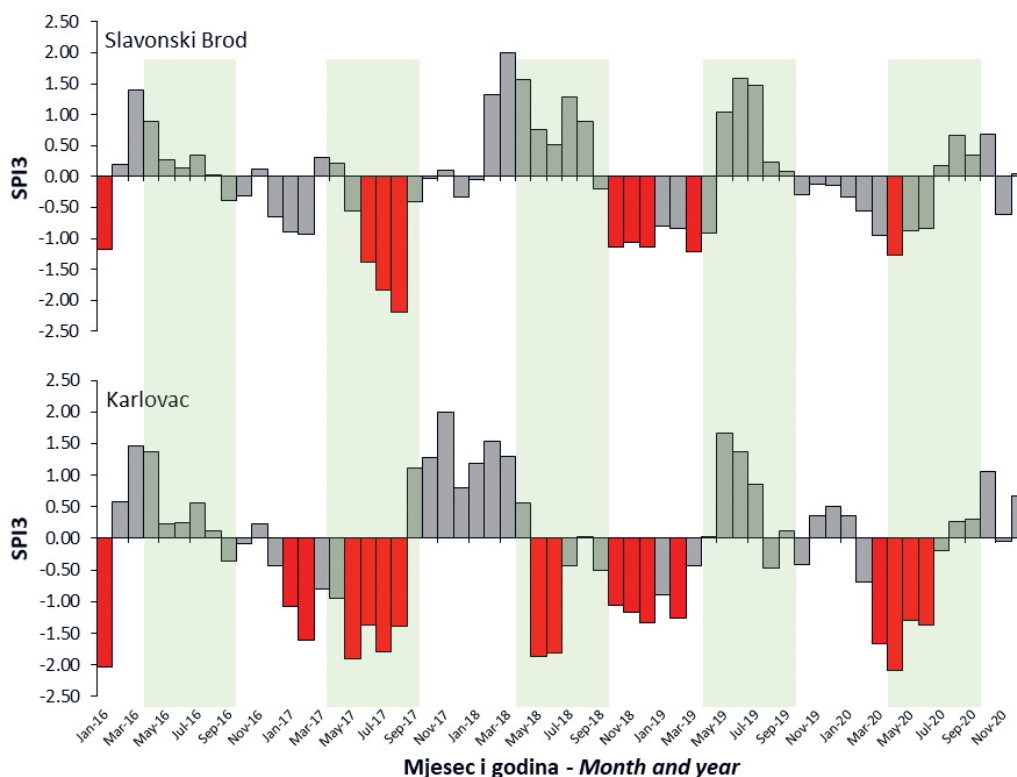
S obzirom na prosječnu starost uzorkovanog pomlatka od $4,0 \pm 0,7$ (SD) godina, a s ciljem što korektnije interpretacije

dobivenih rezultata, vrlo je važno prikazati meteorološke prilike u istraženim provenijencijama u razdoblju 2016. – 2020. godine pod čijim je utjecajem uzorkovani pomladak rastao. U spomenutom su razdoblju T_{go} i T_{vr} u obje provenijencije bile podjednake. Međutim, provenijencija SB u odnosu na provenijenciju KA imala je prilično manju OB_{go} i OB_{vr} . Na godišnjoj razini za 36 %, a na razini vegetacijskoga razdoblja za 32 % (Tablica 2). U razdoblju 2016. – 2020. godine prema $SPI3 < -1.0$ provenijencija SB imala

Tablica 2. Meteorološke prilike u provenijencijama Slavonski Brod i Karlovac u razdoblju 2016. – 2020. godine. Srednja godišnja temperatura zraka (T_{go}), srednja temperatura zraka u vegetacijskom razdoblju (T_{vr}), srednja godišnja količina oborina (OB_{go}) i srednja količina oborina u vegetacijskom razdoblju (OB_{vr}).

Table 2. Meteorological conditions of investigated provenances in period 2016 – 2020. Mean annual temperature (T_{go}), mean growing season temperature (T_{vr}), mean annual precipitation (OB_{go}) and mean growing season precipitation (OB_{vr}).

Parametri Parameters	Slavonski Brod	Karlovac
T_{go} (°C)	12,3	12,7
T_{vr} (°C)	18,7	18,9
OB_{go} (mm)	692,4	1088,7
OB_{vr} (mm)	377,3	552,9



Slika 1. Standardizirani oborinski indeks (SPI3) u provenijencijama Slavonski Brod i Karlovac izračunat za svaki mjesec u razdoblju 2016. – 2020. godine. Crveni stupci ukazuju na vrijednosti standardiziranog oborinskog indeksa nižega od -1.0 ($SPI3 < -1.0$) koji ukazuje na umjereno do ekstremno sušne mjeseci. Zelena polja ukazuju na vegetacijsko razdoblje (travanj – rujanj).

Figure 1. Standardized precipitation index (SPI3) calculated for each month in period 2016 – 2020 in provenances Slavonski Brod and Karlovac. Red bars indicated values of standardized precipitation index below -1.0 ($SPI3 < -1.0$) which indicate moderate to extremely dry months. Green fields indicated growing seasons (April – September).

Tablica 3. Mehanički sastav tla opisan sa relativnim odnosima \pm SD pijeska (2,0 – 0,063 mm), praha (0,064 – 0,002 mm) i gline (< 0,002 mm) u sitnici tla provenijencije Slavonski Brod i Karlovac na dvije različite dubine (0 – 15 i 16 – 30 cm) s rezultatima Mann-Whitney U testa koji na razlike između provenijencija ukazuju pri $p < 0,05$.

Table 3. Soil mechanical composition described with relative proportion \pm SD of sand (2.0 – 0.063 mm), silt (0.064 – 0.002 mm) and clay (< 0.002 mm) in Slavonski Brod and Karlovac proveniences at two soil depth (0 – 15 and 16 – 30 cm) with results of Mann-Whitney U test which indicates differences between proveniences at $p < 0.05$.

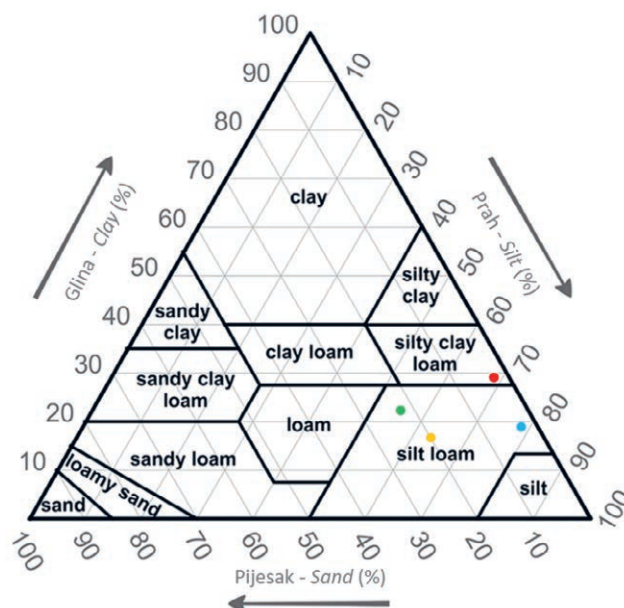
Dubina tla Soil depth	Sastavnice tla Soil components	Slavonski Brod	Karlovac	Mann-Whitney U test p vrijednosti – p values
0 – 15 cm	Pijesak – Sand (%)	2,67 \pm 0,31	20,50 \pm 16,72	0,080
	Prah – Silt (%)	78,43 \pm 5,88	63,23 \pm 11,25	0,080
	Glina – Clay (%)	18,90 \pm 6,15	16,27 \pm 5,73	1,000
16 – 30 cm	Pijesak – Sand (%)	2,20 \pm 1,90	22,10 \pm 16,83	0,080
	Prah – Silt (%)	69,20 \pm 6,92	55,87 \pm 13,21	0,190
	Glina – Clay (%)	28,60 \pm 7,10	22,03 \pm 9,83	0,382

je ukupno devet umjereno do ekstremno sušnih mjeseci (od čega četiri tijekom vegetacijskih razdoblja) što je prilično manje u odnosu na provenijenciju KA koja je imala ukupno 17 umjereno do ekstremno sušnih mjeseci (od čega devet tijekom vegetacijskih razdoblja), unatoč većoj OB_{go} i OB_{vr} u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB (Slika 1 i Tablica 2).

Mehanički sastav te fizikalna i kemijska svojstva tala u istraživanim provenijencijama – *Mechanical composition and physical and chemical traits of soils in investigated proveniences*

Prema rezultatima Mann-Whitney U testa na dubini tla 0 – 15 cm i 16 – 30 cm udio pojedinih mehaničkih sastavnica tla (pijesak, prah, glina) nije se signifikantno razlikovao između provenijencija (Tablica 3). U skladu s tim, prema teksturi sitnice tla na dubini 0 – 15 cm tlo obiju provenijencija odgovara praškastoj ilovači. Međutim, na dubini 16 – 30 cm tlo provenijencije SB odgovara praškasto glinastoj ilovači, a tlo provenijencije KA praškastoj ilovači (Slika 2). Prema tome, tlo u provenijenciji KA ipak je nešto "lakše" strukture u odnosu na tlo provenijencije SB. To potvrđuje prilično veći udio pijeska te nešto manji udio praha i gline (posebno na dubini 16 – 30 cm) u sitnici tla provenijencije KA u odnosu na provenijenciju SB (Tablica 3 i Slika 2). Uz to, tlo u provenijenciji KA sadržava određenu količinu skeleta (šljunka), kako na dubini 0 – 15 cm tako i na dubini 16 – 30 cm što u provenijenciji SB nije utvrđeno. To dodatno naglašava nešto lakšu strukturu tla u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB.

Prema rezultatima Mann-Whitney U testa na dubini tla 0 – 15 cm i 16 – 30 cm nema signifikantnih razlika između provenijencija s obzirom na parametare koji opisuju fizikalne značajke njihovih tala (Tablica 4). U skladu s tim, prema graničnim vrijednostima ukupne poroznosti te kapaciteta tla za vodu i zrak (Škorić 1986), tlo obiju provenijencija na dubini 0 – 15 cm i 16 – 30 cm pripada skupini



Slika 2. Tekstura tla provenijencije Slavonski Brod na dubini 0 – 15 (plava točka) i 16 – 30 cm (crvena točka) te provenijencije Karlovac na dubini 0 – 15 (žuta točka) i 16 – 30 cm (zelena točka) prema teksturnom trokutu (FAO 2006).

Figure 2. Soil texture of provenience Slavonski Brod at depth 0 – 15 (blue dot) and 16 – 30 cm (red dot) and provenience Karlovac at depth 0 – 15 (yellow dot) and 16 – 30 cm (green dot) according to texture triangle (FAO 2006).

poroznih tala s osrednjim retencijskim kapacitetom za vodu i osrednjim kapacitetom za zrak.

Slično kao i u prethodnim slučajevima, prema rezultatima Mann-Whitney U testa na dubini tla 0 – 15 cm i 16 – 30 cm nema signifikantnih razlika između provenijencija s obzirom na parametare koji opisuju kemijske značajke njihovih tala. U skladu s tim, ukupne zalihe N, P i K na dubini tla 0 – 15 cm i 16 – 30 cm bile su slične u obje provenijencije, bez signifikantnih razlika (Tablica 5). Prema graničnim vrijednostima kemijskih značajki tala (Škorić 1986), na obje dubine 0 – 15 cm i 16 – 30 cm tla obiju provenijencija pri-

Tablica 4. Fizikalne značajke tla opisane sa srednjim vrijednostima \pm SD gustoće tla (Gv), gustoće čvrstih čestica (Gč), ukupne poroznosti (P), retencijskog kapaciteta tla za vodu (Kv) i kapaciteta tla za zrak (Kz) u tlu provenijencije Slavonski Brod i Karlovac na dvije različite dubine (0 – 15 i 16 – 30 cm) s rezultatima Mann-Whitney U testa koji na razlike između provejencija ukazuju pri $p < 0,05$.

Table 4. Physical traits of soil described by mean values \pm SD of bulk density (Gv), density of solid soil particles (Gč), total porosity (P), soil retention capacity for water (Kv) and soil air capacity (Kz) in Slavonski Brod and Karlovac provenances at two soil depth (0 – 15 and 16 – 30 cm) with results of Mann-Whitney U test which indicates differences between provenances at $p < 0.05$.

Dubina tla Soil depth	Parametar Parameter	Slavonski Brod	Karlovac	Mann-Whitney U test p vrijednosti - p values
0 – 15 cm	Gv (g/cm ³)	1,39 \pm 0,03	1,31 \pm 0,12	0,663
	Gč (g/cm ³)	2,65 \pm 0,03	2,58 \pm 0,03	0,081
	P (% vol.)	47,70 \pm 1,48	49,42 \pm 4,52	0,663
	Kv (% vol.)	36,32 \pm 4,00	41,55 \pm 5,90	0,663
	Kz (% vol.)	11,40 \pm 3,02	7,90 \pm 4,07	0,383
16 – 30 cm	Gv (g/cm ³)	1,45 \pm 0,01	1,41 \pm 0,14	0,658
	Gč (g/cm ³)	2,67 \pm 0,02	2,64 \pm 0,01	0,190
	P (% vol.)	45,72 \pm 0,37	46,89 \pm 5,45	0,663
	Kv (% vol.)	36,29 \pm 0,55	35,80 \pm 7,50	0,663
	Kz (% vol.)	9,46 \pm 0,66	11,08 \pm 3,12	0,663

Tablica 5. Kemijske značajke tla opisane sa srednjim vrijednostima \pm SD reakcije tla (pH), koncentracije humusa, dušika (N), fiziološki aktivnog fosfora (P₂O₅) i kalija (K₂O), te ukupnih zaliha dušika (N_{zaliha}), fosfora (P_{zaliha}) i kalija (K_{zaliha}) u tlu provenijencije Slavonski Brod i Karlovac na dvije različite dubine (0 – 15 i 16 – 30 cm) s rezultatima Mann-Whitney U testa koji na razlike između provejencija ukazuju pri $p < 0,05$.

Table 5. Soil chemical traits described with mean values \pm SD of soil reaction (pH), concentration of humus, nitrogen (N), physiologically active phosphorus (P₂O₅) and potassium (K₂O), as well as stocks of nitrogen (N_{zaliha}), physiologically active phosphorous (P_{zaliha}) and potassium (K_{zaliha}) in Slavonski Brod and Karlovac provenances at two soil depth (0 – 15 and 16 – 30 cm) with results of Mann-Whitney U test which indicates differences between provenances at $p < 0.05$.

Dubina tla Soil depth	Parametar Parameter	Slavonski Brod	Karlovac	Mann-Whitney U test p vrijednosti - p values
0 – 15 cm	pH	5,09 \pm 0,28	4,87 \pm 0,54	0,663
	Humus (%)	2,98 \pm 0,80	4,50 \pm 0,79	0,081
	N (%)	0,18 \pm 0,04	0,19 \pm 0,02	1,000
	P ₂ O ₅ (mg/100g)	0,87 \pm 0,06	0,77 \pm 0,49	0,658
	K ₂ O (mg/100g)	14,33 \pm 0,58	10,40 \pm 2,45	0,072
	N _{zaliha} (kg/m ²)	38,26 \pm 8,79	37,63 \pm 1,13	1,000
	P _{zaliha} (kg/ha)	1,80 \pm 0,15	1,44 \pm 0,88	0,663
	K _{zaliha} (kg/ha)	29,90 \pm 1,73	20,10 \pm 3,35	0,081
16 – 30 cm	pH	5,16 \pm 0,15	4,88 \pm 0,46	0,663
	Humus (%)	1,72 \pm 0,78	2,48 \pm 0,62	0,383
	N (%)	0,11 \pm 0,02	0,14 \pm 0,01	0,077
	P ₂ O ₅ (mg/100g)	0,40 \pm 0,35	0,23 \pm 0,15	0,643
	K ₂ O (mg/100g)	11,13 \pm 0,83	6,93 \pm 1,29	0,081
	N _{zaliha} (kg/m ²)	24,62 \pm 3,29	30,29 \pm 4,16	0,190
	P _{zaliha} (kg/ha)	0,87 \pm 0,75	0,47 \pm 0,28	1,000
	K _{zaliha} (kg/ha)	24,20 \pm 1,80	14,79 \pm 4,20	0,081

padaju skupini kiselih tala, koja su dosta humozna, dobro opskrbljena s dušikom i slabo opskrbljenih s fosforom. Jedina razlika, ogleda se u opskrbljenosti kalijem s kojim je

prema Škoriću (1986), tlo provenijencije SB osrednje, a tlo provenijencije KA slabo opskrbljeno, kako na dubini 0 – 15 cm tako i na dubini 16 – 30 cm.

Razlike u rastu i produkciji suhe tvari između provenijencija i vrsta – *Differences in growth and dry mass production between provenances and species*

Rezultati dvofaktorske ANOVA-e (Tablica 6) u kombinaciji s deskriptivnom statistikom (Tablice 7 i 8) otkrivaju cjelokupan utjecaj provenijencije (Slavonski Brod u usporedbi s Karlovcem) i vrste (hrasta kitnjaka u usporedbi s običnom bukvom) te njihove interakcije (provenijencija x vrsta) na starost i parametre rasta (D_{st} , H_{st} i L_{ko}) s pripadajućim alometrijskim odnosima (D_{st}/H_{st} i L_{ko}/H_{st}), te parametre

produkcije suhe tvari (ST_{uk} , ST_{st} , ST_{ko} , ST_{kk} i ST_{sk}) i njihove alometrijske odnose (ST_{st}/ST_{uk} , ST_{ko}/ST_{uk} , ST_{kk}/ST_{uk} , ST_{sk}/ST_{uk} i ST_{ko}/ST_{st}).

Izostanak signifikantnog utjecaja interakcije provenijencija x vrsta na spomenute parametre (Tablica 6) ukazuje da su rast i produkcija suhe tvari kod pomlatka obiju vrsta na sličan način bili utjecani provenijencijom (Tablica 8). Uz to, uzorkovani pomladak bio je podjednako star, bez obzira na njegovu pripadnost različitim provenijencijama i/ili vrstama (Tablica 6), čija je prosječna starost iznosila oko četiri godine.

Tablica 6. Utjecaj provenijencije (Slavonski Brod u odnosu na Karlovac), vrste (kitnjak u odnosu na bukvu) i njihove interakcije (provenijencija x vrsta) na parametre rasta; promjer vrata korijena (D_{st}), visinu stabljike (H_{st}) i dužinu glavnog korijena (L_{ko}), te alometrijske odnose rasta; omjer promjera vrata korijena i visine stabljike (D_{st}/H_{st}), omjer dužine glavnog korijena i visine stabljike (L_{ko}/H_{st}) te parametre produkcije suhe tvari; ukupna masa suhe tvari (ST_{uk}), masa suhe tvari stabljike (ST_{st}), ukupna masa suhe tvari korijenja (ST_{ko}), masa suhe tvari krupnog korijenja (ST_{kk}) i masa suhe tvari sitnog korijenja (ST_{sk}), te alometrijske odnose produkcije suhe tvari; omjer mase suhe tvari stabljike i ukupne mase suhe tvari (ST_{st}/ST_{uk}), omjer ukupne mase suhe tvari korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{ko}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari krupnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{kk}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari sitnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{sk}/ST_{uk}) te omjer ukupne suhe tvari korijenja i suhe tvari stabljike (ST_{ko}/ST_{st}), kako je izračunato pomoću dvofaktorske ANOVA-e.

Table 6. Effects of provenance (Slavonski Brod in relation to Karlovac), species (oak in relation to beech) and its interaction (provenance x species) on growth parameters; root collar diameter (D_{st}), stem height (H_{st}) and tap root length (L_{ko}), and allometric growth relation; root collar diameter to stem height (D_{st}/H_{st}), tap root length to stem height (L_{ko}/H_{st}), as well as parameters of dry matter production; total dry matter (ST_{uk}), stem dry matter (ST_{st}), total root dry matter (ST_{ko}), coarse root dry matter (ST_{kk}) and fine root dry matter (ST_{sk}), and allometric relation of dry matter production; stem dry matter to total dry matter (ST_{st}/ST_{uk}), total root dry matter to total dry matter (ST_{ko}/ST_{uk}), coarse root dry matter to total dry matter (ST_{kk}/ST_{uk}), fine root dry matter to total dry matter (ST_{sk}/ST_{uk}) and total root dry matter to stem dry matter (ST_{ko}/ST_{st}), as calculated by two-way ANOVA.

Parametar – Parameter		Provenijencija Provenance		Vrsta Species		Provenijencija x vrsta Provenance x species	
		F vrijednost F value	p	F vrijednost F value	p	F vrijednost F value	p
Starost – Age	St	0,744	0,391	2,065	0,154	0,000	1,000
	D_{st}	9,157	0,003	0,009	0,923	1,837	0,178
Rast – Growth	H_{st}	9,417	0,002	10,779	0,001	0,065	0,799
	L_{ko}	5,043	0,027	48,673	< 0,0001	0,010	0,923
	D_{st}/H_{st}	38,485	< 0,0001	12,260	0,001	0,612	0,436
Alometrijski odnosi rasta – Allometric growth relation	L_{ko}/H_{st}	18,695	< 0,0001	73,331	< 0,0001	0,368	0,546
	ST_{uk}	0,267	0,607	18,363	< 0,0001	0,942	0,334
Produkcija suhe tvari – Dry matter production	ST_{st}	0,026	0,873	0,034	0,854	1,793	0,184
	ST_{ko}	0,417	0,520	34,958	< 0,0001	0,507	0,478
	ST_{kk}	0,119	0,730	39,562	< 0,0001	0,425	0,516
	ST_{sk}	9,259	0,003	0,348	0,556	0,793	0,376
	ST_{st}/ST_{uk}	6,437	0,013	129,594	< 0,0001	0,888	0,348
Alometrijski odnosi produkcije suhe tvari – Allometric relation of dry matter production	ST_{ko}/ST_{uk}	6,437	0,013	129,594	< 0,0001	0,888	0,348
	ST_{kk}/ST_{uk}	0,638	0,426	205,952	< 0,0001	0,194	0,660
	ST_{sk}/ST_{uk}	9,216	0,003	22,708	< 0,0001	0,779	0,380
	ST_{ko}/ST_{st}	3,839	0,053	88,131	< 0,0001	0,127	0,723

Podebljane vrijednosti ukazuju na signifikantan utjecaj provenijencije ili vrste pri $p < 0,05$
Values in bold indicate significant provenance or species effects at $p < 0.05$

Tablica 7. Srednje vrijednosti \pm SD parametara rasta; promjer vrata korijena (D_{st}), visina stabljike (H_{st}) i dužina glavnog korijena (L_{ko}), te alometrijskih odnosa rasta; omjer promjera vrata korijena i visine stabljike (D_{st}/H_{st}) i dužine glavnog korijena i visine stabljike (L_{ko}/H_{st}) kao i parametara produkcije suhe tvari; ukupna masa suhe tvari (ST_{uk}), masa suhe tvari stabljike (ST_{st}), ukupna masa suhe tvari korijenja (ST_{ko}), masa suhe tvari krupnog korijenja (ST_{kk}) i masa suhe tvari sitnog korijenja (ST_{sk}), te alometrijskih odnosa produkcije suhe tvari; omjer mase suhe tvari stabljike i ukupne mase suhe tvari (ST_{st}/ST_{uk}), omjer ukupne mase suhe tvari korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{ko}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari krupnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{kk}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari sitnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{sk}/ST_{uk}) te omjer ukupne suhe tvari korijenja i suhe tvari stabljike (ST_{ko}/ST_{st}) kod pomlatka iz provenijencija Slavonski Brod i Karlovac.

Table 7. Mean values \pm SD of growth parameters; root collar diameter (D_{st}), stem height (H_{st}) and tap root length (L_{ko}), and of allometric growth relation; root collar diameter to stem height (D_{st}/H_{st}), tap root length to stem height (L_{ko}/H_{st}), as well as of parameters of dry matter production; total dry matter (ST_{uk}), stem dry matter (ST_{st}), total root dry matter (ST_{ko}), coarse root dry matter (ST_{kk}) and fine root dry matter (ST_{sk}), and of allometric relation of dry matter production; stem dry matter to total dry matter (ST_{st}/ST_{uk}), total root dry matter to total dry matter (ST_{ko}/ST_{uk}), coarse root dry matter to total dry matter (ST_{kk}/ST_{uk}), fine root dry matter to total dry matter (ST_{sk}/ST_{uk}) and total root dry matter to stem dry matter (ST_{ko}/ST_{st}) for saplings of Slavonski Brod and Karlovac provenances.

Parametar – Parameter	Slavonski Brod	Karlovac	
D_{st} (mm)	5,18 \pm 1,21	5,89 \pm 1,12	
Rast – Growth	H_{st} (cm)	39,02 \pm 9,13	34,27 \pm 6,89
	L_{ko} (cm)	28,81 \pm 8,92	32,22 \pm 9,51
Alometrijski odnosi rasta – Allometric growth relations	D_{st}/H_{st}	0,14 \pm 0,03	0,18 \pm 0,02
	L_{ko}/H_{st}	0,77 \pm 0,28	0,98 \pm 0,35
Produkcija suhe tvari – Dry matter production	ST_{uk} (g)	7,39 \pm 4,95	7,82 \pm 3,94
	ST_{st} (g)	2,71 \pm 1,45	2,76 \pm 1,39
	ST_{ko} (g)	4,68 \pm 3,77	5,06 \pm 3,00
	ST_{kk} (g)	4,30 \pm 3,64	4,49 \pm 2,90
	ST_{sk} (g)	0,39 \pm 0,28	0,57 \pm 0,33
Alometrijski odnosi produkcije suhe tvari – Allometric relations of dry matter production	ST_{st}/ST_{uk}	0,40 \pm 0,11	0,37 \pm 0,10
	ST_{ko}/ST_{uk}	0,60 \pm 0,11	0,63 \pm 0,10
	ST_{kk}/ST_{uk}	0,54 \pm 0,12	0,55 \pm 0,12
	ST_{sk}/ST_{uk}	0,06 \pm 0,04	0,08 \pm 0,05
	ST_{ko}/ST_{st}	1,70 \pm 0,84	1,95 \pm 0,96

Podeblane vrijednosti ukazuju na značajne razlike između provenijencija pri $p < 0,05$

Bold values indicates significant differences between provenances at $p < 0.05$

Razlike između provenijencija – Differences between provenances

Pomladak iz provenijencije KA imao je značajno veći D_{st} i L_{ko} te značajno manju H_{st} u odnosu na pomladak iz provenijencije SB. Prema tome, pomladak iz provenijen-

cije KA imao je veći promjer na vratu korijena i dublje se zakorjenjivao nego pomladak iz provenijencije SB, a sve na uštrb rasta stabljike u visinu. To potvrđuju značajne razlike između provenijencija s obzirom na parametre alometrijskog rasta D_{st}/H_{st} i L_{ko}/H_{st} (Tablica 6 i 7), što je utvrđeno kod obje vrste (Tablica 8).

Pomladak obiju provenijencija imao je podjednaku produkciju ST_{uk} , ST_{st} , ST_{kk} i ST_{sk} , dok je pomladak iz provenijencije KA u odnosu na provenijenciju SB imao značajno veću ST_{sk} . Međutim, usporedba alometrijskih odnosa produkcije suhe tvari podzemnog i nadzemnog dijela (ST_{ko}/ST_{uk} i ST_{st}/ST_{uk}) otkriva da je pomladak iz provenijencije KA ulagao značajno više suhe tvari u korijen, a manje u stabljiku nego pomladak iz provenijencije SB. Na to ukazuje i prilično veći omjer ST_{ko}/ST_{st} kod pomlatka iz provenijencije KA u odnosu na pomladak iz provenijencije SB, koji je bio na granici značajnosti ($p = 0,053$). Količina suhe tvari uložene u krupno korijenje bila je podjednaka u obje provenijencije, što dodatno potvrđuje izostanak značajnih razlika između provenijencija s obzirom na omjer ST_{kk}/ST_{uk} . U trenutku uzorkovanja, pomladak iz provenijencije KA imao je značajno veću ST_{sk} nego pomladak iz provenijencije SB (Tablica 6 i 7). Takvom rezultatu većinom je doprinjela ST_{sk} bukova pomlatka koja je u provenijenciji KA bila značajno veća nego u provenijenciji SB, za razliku od ST_{sk} hrastova pomlatka koja se nije značajno razlikovala između provenijencija (Tablica 8).

Razlike između vrsta – Differences between species

Pomladak obiju vrsta imao je podjednak D_{st} , dok je kitnjakov u odnosu na bukov pomladak imao značajno manju H_{st} i veću L_{ko} . Prema tome, kitnjakov pomladak dublje se zakorjenjivao nego bukov pomladak i to na uštrb rasta stabljike u visinu. To potvrđuje značajna razlika između vrsta s obzirom na omjer L_{ko}/H_{st} . Značajno veći omjer D_{st}/H_{st} u korist kitnjakova pomlatka dodatno potvrđuje razvoj snažnijeg korijenja kod kitnjakova u odnosu na bukov pomladak (Tablica 6 i 9).

Kitnjakov pomladak producirao je značajno više ST_{uk} u odnosu na bukov pomladak. Usporedba alometrijskih odnosa produkcije suhe tvari podzemnog i nadzemnog dijela (ST_{ko}/ST_{uk} i ST_{st}/ST_{uk}) otkriva da je kitnjakov u odnosu na bukov pomladak ulagao značajno više suhe tvari u korijen nego u stabljiku. To dokazuje i značajno veći omjer ST_{ko}/ST_{st} kod kitnjakova u odnosu na bukov pomladak. Međutim, ako se ulaganje suhe tvari sagleda odvojeno za krupni i sitni korijen tada je jasno da je kitnjakov u odnosu na bukov pomladak ulagao značajno više suhe tvari u krupni i značajno manje u sitni korijen. To potvrđuju značajne razlike između vrsta s obzirom na omjere ST_{kk}/ST_{uk} i ST_{sk}/ST_{uk} . Unatoč tomu što je kitnjakov

Tablica 8. Srednje vrijednosti \pm SD parametara rasta; promjer vrata korijena (D_{st}), visina stabljike (H_{st}) i dužina glavnog korijena (L_{ko}), te alometrijskih odnosa rasta; omjer promjera vrata korijena i visine stabljike (D_{st}/H_{st}) i dužine glavnog korijena i visine stabljike (L_{ko}/H_{st}) kao i parametara produkcije suhe tvari; ukupna masa suhe tvari (ST_{uk}), masa suhe tvari stabljike (ST_{st}), ukupna masa suhe tvari korijenja (ST_{ko}), masa suhe tvari krupnog korijenja (ST_{kk}) i masa suhe tvari sitnog korijenja (ST_{sk}), te alometrijskih odnosa produkcije suhe tvari; omjer mase suhe tvari stabljike i ukupne mase suhe tvari (ST_{st}/ST_{uk}), omjer ukupne mase suhe tvari korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{ko}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari krupnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{kk}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari sitnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{sk}/ST_{uk}) te omjer ukupne suhe tvari korijenja i suhe tvari stabljike (ST_{ko}/ST_{st}) kod kitnjakova i bukova pomlatka iz provenijencija Slavonski Brod i Karlovac.

Table 8. Mean values \pm SD of growth parameters; root collar diameter (D_{st}), stem height (H_{st}) and tap root length (L_{ko}), and of allometric growth relation; root collar diameter to stem height (D_{st}/H_{st}), tap root length to stem height (L_{ko}/H_{st}), as well as of parameters of dry matter production; total dry matter (ST_{uk}), stem dry matter (ST_{st}), total root dry matter (ST_{ko}), coarse root dry matter (ST_{kk}) and fine root dry matter (ST_{sk}), and of allometric relation of dry matter production; stem dry matter to total dry matter (ST_{st}/ST_{uk}), total root dry matter to total dry matter (ST_{ko}/ST_{uk}), coarse root dry matter to total dry matter (ST_{kk}/ST_{uk}), fine root dry matter to total dry matter (ST_{sk}/ST_{uk}) and total root dry matter to stem dry matter (ST_{ko}/ST_{st}) for oak and beech saplings from Slavonski Brod and Karlovac provenances.

Parametar – Parameter		Hrast kitnjak <i>Sessile oak</i>		Obična bukva <i>Common beech</i>	
		Slavonski Brod	Karlovac	Slavonski Brod	Karlovac
Rast – Growth	D_{st} (mm)	5,33 \pm 1,28	5,72 \pm 0,89	5,04 \pm 1,14	6,06 \pm 1,31
	H_{st} (cm)	36,28 \pm 7,65	31,92 \pm 6,00	41,76 \pm 9,80	36,62 \pm 7,03
	L_{ko} (cm)	34,18 \pm 8,28	37,44 \pm 8,82	23,44 \pm 5,81	27,00 \pm 7,08
Alometrijski odnosi rasta – <i>Allometric growth relations</i>	D_{st}/H_{st}	0,15 \pm 0,04	0,18 \pm 0,04	0,12 \pm 0,02	0,17 \pm 0,03
	L_{ko}/H_{st}	0,96 \pm 0,24	1,20 \pm 0,31	0,58 \pm 0,16	0,76 \pm 0,23
Produkcija suhe tvari – Dry <i>matter production</i>	ST_{uk} (g)	9,56 \pm 5,52	9,19 \pm 4,21	5,23 \pm 3,12	6,45 \pm 3,17
	ST_{st} (g)	2,93 \pm 1,51	2,59 \pm 1,10	2,50 \pm 1,38	2,92 \pm 1,64
	ST_{ko} (g)	6,63 \pm 4,18	6,59 \pm 3,28	2,73 \pm 1,92	3,53 \pm 1,64
	ST_{kk} (g)	6,24 \pm 4,02	6,07 \pm 3,13	2,36 \pm 1,75	2,91 \pm 1,47
	ST_{sk} (g)	0,40 \pm 0,28	0,53 \pm 0,28	0,38 \pm 0,29	0,62 \pm 0,37
Alometrijski odnosi produkcije suhe tvari – <i>Allometric relations</i> <i>of dry matter production</i>	ST_{st}/ST_{uk}	0,32 \pm 0,07	0,30 \pm 0,07	0,49 \pm 0,08	0,44 \pm 0,06
	ST_{ko}/ST_{uk}	0,68 \pm 0,07	0,70 \pm 0,07	0,51 \pm 0,08	0,56 \pm 0,06
	ST_{kk}/ST_{uk}	0,64 \pm 0,07	0,64 \pm 0,07	0,44 \pm 0,07	0,45 \pm 0,06
	ST_{sk}/ST_{uk}	0,04 \pm 0,02	0,06 \pm 0,03	0,07 \pm 0,05	0,10 \pm 0,06
	ST_{ko}/ST_{st}	2,29 \pm 0,74	2,59 \pm 0,95	1,10 \pm 0,40	1,31 \pm 0,34

Podebljane vrijednosti ukazuju na signifikantne razlike između kitnjakova ili bukova pomlatka u provenijencijama Slavonski Brod i Karlovac pri $p < 0,05$

Bold values indicates significant differences between oak or beech saplings in Slavonski Brod and Karlovac provenances at $p < 0.05$

pomladak producirao više ST_{uk} koju je većinom uložio u krupno korijenje, njegova ST_{st} i ST_{sk} nisu bile signifikantno različite u odnosu na bukov pomladak (Tablica 6 i 9).

RASPRAVA DISCUSSION

Razlike između provenijencija s obzirom na stanišne prilike – *Differences between provenances considering habitat conditions*

Vegetacijske, geomorfološke i edafske prilike u obje provenijencije bile su prilično slične (Tablice 3 – 5 i Slika 2), dok se klimatske prilike (Tablica 1) i/ili meteorološke prilike u razdoblju 2016. – 2020. godine (Tablica 2 i Slika 1) u određenoj mjeri razlikuju. Na temelju razlika između

provenijencija s obzirom na količine oborina (Tablica 1) sasvim je legitimno pretpostaviti da je u kontekstu dugogodišnjih klimatskih prilika stanište provenijencije SB suše u odnosu na stanište provenijencije KA. Međutim, raspored oborina i njegov utjecaj na učestalost pojave umjereno do ekstremno sušnih mjeseci u provenijencijama SB i KA procijenjenih na temelju SPI3 < -1.0 (Tablica 1) otkriva da se u kontekstu dugogodišnjih klimatskih prilika staništa obiju provenijencija odlikuju podjednako suhoćom i/ili vlažnošću. Na poslijetku, ako se u obzir uzmu količine oborina (Tablica 2) i njihov različit raspored u razdoblju 2016. – 2020. godine koji je rezultirao učestalijom pojavom umjereno do ekstremno sušnih mjeseci u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB na što ukazuje SPI3 < -1.0 (Slika 1) tada je moguće pretpostaviti da je pomladak iz

Tablica 9. Srednje vrijednosti \pm SD parametara rasta; promjer vrata korijena (D_{st}), visina stabljike (H_{st}) i dužina glavnog korijena (L_{ko}), te alometrijskih odnosa rasta; omjer promjera vrata korijena i visine stabljike (D_{st}/H_{st}) i dužine glavnog korijena i visine stabljike (L_{ko}/H_{st}) kao i parametara produkcije suhe tvari; ukupna masa suhe tvari (ST_{uk}), masa suhe tvari stabljike (ST_{st}), ukupna masa suhe tvari korijenja (ST_{ko}), masa suhe tvari krupnog korijenja (ST_{kk}) i masa suhe tvari sitnog korijenja (ST_{sk}), te alometrijskih odnosa produkcije suhe tvari; omjer mase suhe tvari stabljike i ukupne mase suhe tvari (ST_{st}/ST_{uk}), omjer ukupne mase suhe tvari korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{ko}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari krupnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{kk}/ST_{uk}), omjer mase suhe tvari sitnog korijenja i ukupne mase suhe tvari (ST_{sk}/ST_{uk}) te omjer ukupne suhe tvari korijenja i suhe tvari stabljike (ST_{ko}/ST_{st}) kod kitnjakova i bukova pomlatka.

Table 9. Mean values \pm SD of growth parameters; root collar diameter (D_{st}), stem height (H_{st}) and tap root length (L_{ko}), and of allometric growth relation; root collar diameter to stem height (D_{st}/H_{st}), tap root length to stem height (L_{ko}/H_{st}), as well as of parameters of dry matter production; total dry matter (ST_{uk}), stem dry matter (ST_{st}), total root dry matter (ST_{ko}), coarse root dry matter (ST_{kk}) and fine root dry matter (ST_{sk}), and of allometric relation of dry matter production; stem dry matter to total dry matter (ST_{st}/ST_{uk}), total root dry matter to total dry matter (ST_{ko}/ST_{uk}), coarse root dry matter to total dry matter (ST_{kk}/ST_{uk}), fine root dry matter to total dry matter (ST_{sk}/ST_{uk}) and total root dry matter to stem dry matter (ST_{ko}/ST_{st}) for oak and beech saplings.

Parametar – Parameter		Hrast kitnjak <i>Sessile oak</i>	Obična bukva <i>Common beech</i>
Rast – Growth	D_{st} (mm)	5,53 \pm 1,11	5,55 \pm 1,32
	H_{st} (cm)	34,10 \pm 7,15	39,19 \pm 8,83
	L_{ko} (cm)	35,81 \pm 8,63	25,22 \pm 6,66
Alometrijski odnosi rasta – Allometric growth relations	D_{st}/H_{st}	0,17 \pm 0,04	0,14 \pm 0,03
	L_{ko}/H_{st}	1,08 \pm 0,30	0,67 \pm 0,22
Produkcija suhe tvari – Dry matter production	ST_{uk} (g)	9,37 \pm 4,86	5,84 \pm 3,17
	ST_{st} (g)	2,76 \pm 1,32	2,71 \pm 1,51
	ST_{ko} (g)	6,61 \pm 3,72	3,13 \pm 1,81
	ST_{kk} (g)	6,15 \pm 3,57	2,63 \pm 1,62
	ST_{sk} (g)	0,46 \pm 0,28	0,50 \pm 0,35
Alometrijski odnosi produkcije suhe tvari – Allometric relations of dry matter production	ST_{st}/ST_{uk}	0,31 \pm 0,07	0,47 \pm 0,07
	ST_{ko}/ST_{uk}	0,69 \pm 0,07	0,53 \pm 0,07
	ST_{kk}/ST_{uk}	0,64 \pm 0,07	0,44 \pm 0,07
	ST_{sk}/ST_{uk}	0,05 \pm 0,03	0,09 \pm 0,05
	ST_{ko}/ST_{st}	2,44 \pm 0,86	1,21 \pm 0,38

Podebljane vrijednosti ukazuju na značajne razlike između vrsta pri $p < 0,05$
Bold values indicates significant differences between species at $p < 0,05$

provenijencije KA za vrijeme svoga rasta i razvoja (2016. – 2020. godina) bio češće izložen suši nego pomladak iz provenijencije SB. Takav rezultat dobro se uklapa u kontekst sveprisutnih klimatskih promjena u smjeru zasušivanja šumskih staništa na području Republike Hrvatske (Anić i dr. 2009, DHMZ 2018) u kombinaciji s činjenicom da provenijencija KA pridolazi vrlo blizu granice Cfsbx⁴

tipa klime (nepovoljnijega za razvoj šumske vegetacije) u kojemu najsuši dio godine pada u toplo godišnje doba s glavnim oborinskim maksimumom koji se pojavljuje u kasnu jesen (Seletković i Katušin 1992).

Razlike između provenijencija s obzirom na rast i produkciju suhe tvari – Differences between provenances considering to growth and dry mass production

Signifikantno veći D_{st} i značajno manju H_{st} , odnosno značajno veći omjer D_{st}/H_{st} u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB (Tablice 6 i 7), što je utvrđeno kod obje vrste (Tablica 8) moguće je objasniti na dva načina. S jedne strane, mladi naraštaj šumskog drveća s većim omjerom D_{st}/H_{st} ima veću mehaničku stabilnost što ga čini otpornijim na olujna nevremena i visoke snježne nanose (Moore i dr. 2008). S obzirom da je S_{vmax} u provenijenciji KA veća nego u provenijenciji SB (Tablica 1) moguće je pretpostaviti da je dobiveni rezultat posljedica selekcijskog pritiska uvjetovanoga različitom količinom snijega što je dovelo do stvarnih genetskih razlika između provenijencija. S druge strane, kod mladog naraštaja šumskoga drveća pod utjecajem suše u odnosu na uvjete normalne vlažnosti također može doći do povećanja omjera D_{st}/H_{st} (Arend i dr. 2011). S obzirom da je za vrijeme rasta i razvoja istraživanoga pomlatka u razdoblju 2016. – 2020. godine učestalost pojave sušnih mjeseci u provenijenciji KA bila veća nego u provenijenciji SB (Slika 1) moguće je pretpostaviti da je ovaj rezultat posljedica fenotipske modifikacije (reakcije na sušu) pomlatka iz provenijencije KA, a ne stvarnih genetskih razlika između istraživanih provenijencija.

Nadalje, značajno veći L_{ko} i značajno manja H_{st} , odnosno značajno veći omjer L_{ko}/H_{st} u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB (Tablice 6 i 7), što je utvrđeno kod obje vrste (Tablica 8) dokazuje da se pomladak iz provenijencije KA dublje zakorjenjivao i sporije rastao u visinu. Takav rezultat također je moguće povezati s fenotipskim modifikacijama istraživanoga pomlatka iz provenijencija KA i SB zbog učestalije pojave relativno sušnih perioda u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB tijekom njegova rasta i razvoja (Slika 1), što je uobičajen odgovor šumskog drveća na sušu (Arend i dr. 2011, Deligöz i Bayar 2018). Značajniji utjecaj selekcijskog pritiska uvjetovanoga različitom količinom oborina i/ili učestalošću sušnih perioda na dublje zakorjenjivanje i sporiji rast istraživanoga pomlatka u visnu manje je realan. U prilog toj pretpostavci idu činjenice da se u kontekstu dugogodišnjih klimatskih prilika staništa obiju provenijencija odlikuju podjednako učestalošću pojave suhih i/ili vlažnih perioda, odnosno da se provenijencija KA u odnosu na provenijenciju SB odlikuje većom OB_{go} i OB_{vr} (Tablica 1).

Signifikantno veća ST_{sk} i signifikantno veći omjer ST_{sk}/ST_{uk} u provenijenciji KA nego u provenijenciji SB dokazuje da je pomladak iz provenijencije KA (koji je bio učestalije izložen sušnim periodima) više suhe tvari ulagao u sitno korijenje nego pomladak iz provenijencije SB (Tablice 6 i 7). Ovdje valja napomenuti da je to bilo izraženije kod bukova nego kitnjakova pomlatka (Tablica 8). Takav rezultat u skladu je s rezultatima ranijih istraživanja prema kojima bukovi pomladak nakon izlaganja sušnom stresu i ponovnog intenziviranja asimilacije CO_2 većinu tada proizvedenih ugljikohidrata (resursa) usmjerava prema korijenu s ciljem poticanja njegove fiziološke aktivnosti i obnove sitnog korijenja (Hagedorn i dr. 2016, Leushner 2020). Štoviše, intenzivnije ulaganje resursa od strane bukova pomlatka iz provenijencije KA u obnovu sitnog korijenja u konačnici je rezultiralo time da je pomladak iz provenijencije KA uložio signifikantno više suhe tvari u korijen nego u stabljiku (63 % u korijen i 37 % u stabljiku) u odnosu na pomladak iz provenijencije SB (60 % u korijen i 40 % u stabljiku), unatoč tomu što se radi o relativno maloj razlici od svega 3 % (Tablice 7 i 8). Prethodno navedeno dodatno potvrđuje prilično veći omjer ST_{ko}/ST_{uk} kod pomlatka iz provenijencije KA u odnosu na pomladak iz provenijencije SB (koji je bio na granici signifikantnosti), te podjednaka ST_{kk} i podjednaki omjer ST_{kk}/ST_{uk} kod pomlatka obiju provenijencija (Tablica 7). S obzirom na gore navedeno moguće je pretpostaviti da je veći ST_{sk} kod pomlatka iz provenijencije KA u odnosu na pomladak iz provenijencije SB posljedica fenotipskih modifikacija kao reakcije na sušni stres.

Međutim, na umu treba imati i to da je signifikantno veća ST_{sk} kod pomlatka iz provenijencije KA ujedno mogla biti i posljedica veće količine oborina, kako u razdoblju 2016. – 2020. godine (Tablica 2) tako i u dužem razdoblju 1949. – 2019. godine (Tablica 1) i/ili nešto manjeg udjela gline u teksturi tla provenijencije KA u odnosu na provenijenciju SB (Tablica 3 i Slika 1). Navedene pretpostavke potvrđuju rezultati ranijih istraživanja prema kojima bukove i kitnjakove sastojine iz područja sa većom količinom oborina imaju veću masu suhe tvari sitnog korijenja nego sastojine iz područja s manjom količinom oborina (Leuschner i Hertel 2003, Leuschner i dr. 2004, Meier i Leuschner 2008, Fuchs i dr. 2020), odnosno, rezultati ranijih istraživanja prema kojima teksturno lakša tla s manjim udjelom gline u sitnici tla povoljno utječu na razvoj sitnoga korijenja kod šumskog drveća (Bécel i dr. 2012, Weemstra i dr. 2017, Ostrogović Sever i dr. 2019). Na temelju takvog objašnjenja moguće je pretpostaviti da je ovakav rezultat posljedica selekcijskog pritiska uvjetovanoga različitim količinom oborina i/ili različitim teksturnim značajkama tla tj. stvarnih genetskih razlika između provenijencija.

Razlike između vrsta s obzirom na rast i produkciju suhe tvari – *Differences between species considering to growth and dry mass production*

Signifikantno veća L_{ko} i ST_{ko} s posebnim naglaskom na ST_{kk} odnosno signifikantno veći omjeri L_{ko}/H_{st} , ST_{ko}/ST_{st} i ST_{kk}/ST_{uk} kod kitnjakova u odnosu na bukovi pomladak (Tablica 9) potvrđuju već poznate činjenice da kitnjak na početku svoga života u odnosu na bukovi ulaže više suhe tvari u rast krupnog korijena (pogotovo žile srčanice) s ciljem što dubljeg zakorjenjivanja i što efikasnijeg usvajanja vode i mineralnih hranjiva iz dubljih slojeva tla (Lloret i dr. 1999, Thomas 2000). To mu pomaže da poveća svoju osmotsku prilagodbu (Kaproth i Cavender-Bares 2016) i smanji negativan utjecaj transpiracije na gubitak vode iz svoga tkiva uslijed suše (Thomas i Gausling 2000, Allen 2015).

Za razliku od kitnjaka koji je primarno orijentiran na usvajanje vode uskladištene u dubljim slojevima tla pomoću žile srčanice, bukva je primarno orijentirana na usvajanje oborinske vode iz plićih slojeva tla pomoću sitnog korijenja (Hertel i dr. 2013, Knutzen i dr. 2015, Leushner 2020). S obzirom da je mlado neodrvnjelo korijenje fiziološki aktivnije i pri tome efikasnije usvaja vodu iz plićih slojeva tla (Bolte i dr. 2003, Leushner 2020) bukva tijekom vegetacijskoga razdoblja vrlo intenzivno obnavlja svoje sitno korijenje što podrazumijeva odbacivanje velike količine staroga uz istovremenu produkciju novoga korijenja (Meier i Leuschner 2008, Nikolova i dr. 2020). U konačnici, tako intenzivna obnova sitnoga korijenja kod bukve negativno utječe na produkciju njezine ukupne biomase, što je često puta vrlo izraženo u odnosu na njezine konkurentske vrste, uključujući i kitnjak (Leushner i dr. 2001a, 2001b). Prethodno navedeno navodi na zaključak da je u našem slučaju bukovi pomladak također ulagao više svojih resursa u obnovu sitnog korijenja nego kitnjakov pomladak, što je u konačnici rezultiralo signifikantno nižom ST_{uk} kod bukova u odnosu na kitnjakov pomladak. To potvrđuje signifikantno veći omjer ST_{sk}/ST_{uk} u korist bukova pomlatka i signifikantno niža ST_{uk} bukova u odnosu na kitnjakov pomladak (Tablica 9).

S obzirom na sve navedeno, naši rezultati (Tablica 9) jasno i nedvosmisleno potvrđuju već poznate činjenice o međuvrtnim razlikama između hrasta kitnjaka i obične bukve, što je vrlo vjerojatno povezano s evolucijom vrsta iz roda *Quercus* na sušim, a vrsta iz roda *Fagus* na mezofilnijim staništima (Madrigal-González i dr. 2017, Fang i Lechowicz 2006).

ZAKLJUČCI CONCLUSIONS

Pomladak iz provenijencije KA razvijao je deblju i nižu stabljiku, dublje se zakorjenjivao i producirao više sitnog korijenja u odnosu na pomladak iz provenijencije SB. Takav

bi rezultat mogao biti posljedica reakcije istraživanih pomlatka na učestalije pojave sušnih perioda za vrijeme njegova rasta i razvoja, ali i stvarnih genetskih razlika između provenijencija KA i SB, što ovom prilikom nije bilo moguće točnije razlučiti. U konačnici, pomladak iz provenijencije KA u odnosu na provenijenciju SB ulagao je više suhe tvari u rast i razvoj korijenja na uštrb stabljike s posebnim naglaskom na sitno korijenje, što u kombinaciji s dubljim zakorijenjivanjem ukazuje na njegovu funkcionalnu prilagodbu sušim stanišnim uvjetima.

Razlike u rastu i produkciji suhe tvari između kitnjakova i bukova pomlatka odgovaraju već otprije poznatim razlikama u kontekstu njihove funkcionalne prilagodbe na vlažnost i/ili suhoću staništa. To znači da se kitnjakov pomladak dublje zakorjenjivao i pritom ulagao više suhe tvari krupno korijenje u odnosu na bukov pomladak koji se pliće zakorjenjivao i pritom ulagao više suhe tvari u sitno korijenje.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENTS

Ovo istraživanje provedeno je u sklopu istraživačkog projekta „IP-2020-02-5204 Fenotipski odgovor provenijencija obične bukve i hrasta kitnjaka na dugotrajnu sušu u interakciji s različitim koncentracijom fosfora u tlu“ kojega financira Hrvatska zaklada za znanost, a koji se od 1. siječnja 2021. godine provodi na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu.

LITERATURA REFERENCES

- Allen, M. F., 2015: How oaks respond to water limitation. U: Standiford, R. B., K. L. Purcell (ur.), 7th California oak symposium: managing oak woodlands in a dynamic world, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 13. – 22., Berkeley
- Angers, D. A., J. Caron, 1998: Plant-induced Changes in Soil Structure: Processes and Feedbacks. *Biogeochemistry* 42: 55. – 72.
- Anić, I., J. Vukelić, S. Mikac, D. Bakšić, D. Ugarković, 2009: Utjecaj globalnih klimatskih promjena na ekološku nišu obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, *Šum list*, 3-4: 135. – 144.
- Anić, M., M. Z. Ostrogović Sever, G. Alberti, I. Balenović, E. Paladinić, A. Peressotti, G. Tijan, Ž. Večenaj, D. Vuletić, H. Marjanović, 2018: Eddy Covariance vs. Biometric Based Estimates of Net Primary Productivity of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) Forest in Croatia during Ten Years. *Forests*, 9: 764.
- Arend, M., T. Kuster, M. Gnthardt-Goerg, M. Dobbertin, 2011: Provenance-specific growth responds to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*), *Tree Physiol*, 31: 287. – 297.
- Bécel, C., G. Vercambre, L. Pagès, 2012: Soil penetration resistance, a suitable soil property to account for variations in root elongation and branching. *Plant Soil*, 353: 169. – 180.
- Bloom, A. J., F. S. Chapin, H. A. Mooney, 1985: Resource limitation in plants an economic analogy. *Annu Rev Ecol Syst*, 16: 363. – 392.
- Bolte, A., D. Hertel, C. Ammer, I. Schmid, R. Nörr, M. Kuhr, N. Redde, 2003: Freilandmethoden zur Untersuchung von Baumwurzeln, *Forstarchiv*, 74: 240. – 262.
- Bréda, N., A. Grainer, F. Barataud, C. Moyne, 1995: Soil water dynamics in an oak stand. *Plant Soil*, 172: 17. – 27.
- Buhk, C., M. Kämmer, C. Beierkuhnlein, A. Jentsch, J. Kreyling, H. F. Jungkunst, 2016: On the influence of provenance to soil quality enhanced stress reaction of young beech trees to summer drought, *Ecol Evol*, 6: 8276. – 8290.
- Cornes, R. C., G. van der Schrier, E. J. M. van den Besselaar, P. D. Jones, 2018: An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Jour Geo Res Atm*, 123: 9391. – 9409.
- Craine, J. M., R. Dybzinski, 2013: Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light, *Func Ecol*, 27: 833. – 840.
- Cutini, A., R. Mercurio, 1997: Growth and development of sessile oak (*Quercus petraea*) and Turkey oak (*Quercus cerris*) seedlings in response to varying light and soil moisture conditions, *Coenoses*, 12: 27. – 32.
- Day, S. D., N. L. Bassuk, 1994: A review of the effects of soil compaction and amelioration treatments on landscape trees, *J Arb*, 20: 9. – 17.
- Deligöz, A., E. Bayar, 2018: Drought stress responses of seedlings of two oak species (*Quercus cerris* and *Quercus robur*), *Turk J Agric For*, 42: 114. – 123.
- DHMZ, 2018: Sedmo nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), 1. – 41. Zagreb
- Dobbertin, M., B. Eilmann, P. Bleuler, A. Giuggiola, E. G. Panatier, W. Landolt, P. Schleppei, A. Rigling, 2010: Effect of irrigation on needle morphology, shoot and stem growth in a drought-exposed *Pinus sylvestris* forest, *Tree Physiol*, 30: 346. – 360.
- Enquist, B. J., K. J. Niklas, 2002: Global Allocation Rules for Patterns of Biomass Partitioning in Seed Plants, *Science*, 295: 1517. – 1520.
- Fang, J. M. J. Lechowicz, 2006: Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world, *J Biog*, 33: 1804. – 1819.
- Fortin 2019: Evidence of climate effects on the height-diameter relationships of tree species, *Ann For Sci*, 76: 1.
- Fuchs, S., D. Hertel, B. Schuldt, C. Leuschner, 2020: Effects of Summer Drought on the Fine Root System of Five Broadleaf Tree Species along a Precipitation Gradient. *Forests*, 11: 289.
- Gotelli, N. J., D. J. McCabe, 2002: “Species co-occurrence: a meta-analysis of J. M. Diamond’s assembly rules model”, *Ecology*, 83: 2091. – 2096.
- Hagedorn, F., J. Joseph, M. Peter, J. Luster, K. Pritsch, U. Geppert, R. Kerner, V. Molinier, S. Egli, M. Schaub, J.F. Liu, M. Li, K. Sever, M. Weiler, R. T. W. Siegwolf, A. Gessler, M. Arend, 2016: Recovery of trees from drought depends on belowground sink control, *Nat plants* 2: 16111.
- Hees, A. F. M., (1997) Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L) and beech (*Fagus sylvatica* L) seedlings in relation to shading and drought. *Ann Sci For*, 94: 9 – 18.
- Hertel, D., T. Strecker, H. Müller-Haubold, C. Leuschner, 2013: Fine root biomass and dynamics in beech forests across a pre-

- precipitation gradient – is optimal resource partitioning theory applicable to water-limited mature trees? *J Ecol*, 101: 1183. – 1200.
- HRN ISO 10390:2005: Određivanje hidrolitičke kiselosti titracijom – modificirana metoda po Kappen-u.
 - HRN ISO 11261:2004: Određivanje fiziološki aktivnog P2O5 i K2O AL – metodom, AL – metoda po Egner, Riehm, Domingou.
 - HRN ISO 11272:2004: Kakvoća tla – Određivanje volumne gustoće suhog tla.
 - HRN ISO 11274:2004: Gustoća čvrstih čestica i ukupna poroznost.
 - HRN ISO 11277:2011: Kakvoća tla – Određivanje raspodjele veličine čestica (mehaničkog sastava) u mineralnom dijelu tla – Metoda prosijavanja i sedimentacije.
 - HRN ISO 11464:2009: Kakvoća tla – Priprema uzorka za fizikalno-kemijske analize.
 - JDPZ, 1966: Hemijske metode istraživanja zemljišta, JDPZ, Beograd.
 - Kaproth, M. A., J. Cavender-Bares, 2016: Drought Tolerance and Climatic Distributions of the American Oaks, *International Oaks*, 27: 30. – 49.
 - Knutzen, F., I. C. Meier, C. Leuschner, 2015: Does reduced precipitation trigger physiological and morphological drought adaptations in European beech (*Fagus sylvatica* L.)? Comparing provenances across a precipitation gradient, *Tree Physiol*, 35: 949. – 963.
 - Kormanek, M., T. Głab, J. Banach, G. Szewczyk, 2015: Effects of soil bulk density on sessile oak *Quercus petraea* Liebl. Seedlings, *Eur J Forest Res*, 134: 969. – 979.
 - Larcher, W., 2003: *Physiological plant ecology*, Springer, 1. – 513.
 - Leuschner, C., K. Backes, D. Hertel, F. Schipka, U. Schmitt, O. Terborg, M. Runge, 2001a: Drought responses at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. trees in dry and wet years. *For Ecol Manage*, 149: 33. – 46.
 - Leuschner, C., D. Hertel, H. Coners, V. Büttner, 2001b: Root competition between beech and oak: a hypothesis, *Oecologia*, 126: 276. – 284.
 - Leuschner, C., D. Hertel, 2003: Fine root biomass in temperate forests in relation to site fertility, water regime and species, *Prog Bot*, 64: 405. – 438.
 - Leuschner, C., D. Hertel, A. Muhs, I. Schmid, O. Koch, 2004: Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forests in response to rainfall height and soil acidity. *Plant Soil*, 258: 43. – 56.
 - Leuschner, C., 2020: Drought response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) – A review, *Persp Plant Ecol Evol Syst*, 47: 125576.
 - Lloret, F., C. Casanovas, J. Penuelas, 1999: Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root: shoot ratio, seed size and water and nitrogen use, *Funct Ecol*, 13: 210. – 216.
 - Lynch, J., P. Marschner, Z. Rengel, 2012: Effect of internal and external factors on root growth and development, *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, Elsevier, 331. – 345.
 - Madrigal-González, J., P. Ruiz-Benito, S. Ratcliffe, A. Ringling, C. Wirth, N. E. Zimmermann, R. Zweifel, M. A. Zavala, 2017: Competition drivers oak species distribution and functioning in Europe: Implications under global change, *Oaks Physiology. Exploring the functional diversity of genus Quercus L.*, Springer, 513. – 538.
 - Mao, W., G. Allington, Y. Li, T. Zhang, X. Zhao, S. Wang, 2012: Life history influences biomass allocation in response to limiting nutrients and water in an arid system. *Polish J Ecol*, 60: 545. – 557.
 - Meier, I. C., C. Leuschner, 2008: Belowground drought response of European beech: fine root biomass and carbon partitioning in 14 mature stands across a precipitation gradient. *Glob Change Biol*, 14: 2081. – 2095.
 - Meier, I. C., F. Knutzen, L. M. Eder, H. Müller-Haubold, M. O. Goebel, J. Bachmann, D. Hertel, C. Leuschner, 2017: The deep root system of *Fagus sylvatica* on sandy soil: structure and variation across a precipitation gradient, *Ecosystems*, 21: 280. – 296.
 - Moore, J. R., J. D. Tombleson, J. A. Turner, M. Van der Colff, 2008: Wind effects on juvenile trees: a review with special reference to toppling of radiata pine growing in New Zealand. *Forestry*, 81: 377. – 387.
 - Nambiar S. E. K., R. Sands, 1993: Competition for water and nutrition in forests, *Can J For Res*, 24: 1955. – 1968.
 - Nikolova, P.S., T.L. Bauerle, K. H. Häberle, H. Blaschke, I. Brunner, R. Matyssek, 2020: Fine-Root Traits Reveal Contrasting Ecological Strategies in European Beech and Norway Spruce During Extreme Drought, *Front Plant Sci*, 11: 1211.
 - Ostrogović M. Z., K. Sever, I. Anić, 2010: Utjecaj svjetla na prirodno pomlađivanje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u park-šumi Maksimir u Zagrebu. *Šum List*, 134 (3-4): 115. – 123.
 - Ostrogović Sever, M. Z., G. Alberti, G. Delle Vedove, H. Marjanović, 2019: Temporal Evolution of Carbon Stocks, Fluxes and Carbon Balance in Pedunculate Oak Chronosequence under Close-To-Nature Forest Management. *Forests*, 10: 814.
 - Pajtlík, J., B. Konôpka, M. Lukac, 2011: Individual biomass factors for beech, oak and pine in Slovakia: a comparative study in young naturally regenerated stands, *Trees*, 25: 277. – 288.
 - Perčec-Tadić, M., 2010: Gridded Croatian climatology for 1961–1990. *Theor Appl Climat*, 102: 87. – 103.
 - Rewald, B., C. Leuschner, 2009: Belowground competition in a broad-leaved temperate mixed forest: pattern analysis and experiments in a four-species stand. *Eur J Forest Res*, 128: 387. – 398.
 - Scharnweber, T., M. Manthey, C. Criegee, A. Bauwe, C. Schröder, M. Wilmking, 2011: Drought matters—declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *For Ecol Manage*, 262: 947. – 961.
 - Seletković, Z., Z. Katušin, 1992: *Klima Hrvatske, Šume u Hrvatskoj*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatske Šume, 1. – 339., Zagreb.
 - Shigesada, N., K. Kawasaki, E. Teramoto, 1979. Spatial segregation of interacting species, *J Theor Biol*, 79: 83 – 99.
 - Škorić, A., 1986: *Pedološki praktikum*. Sveučilište u Zagrebu, 51.
 - Thomas, F. M., 2000: Vertical Rooting Patterns of Mature *Quercus* Trees Growing on Different Soil Types in Northern Germany, *Plant Ecology*, 147: 95. – 103.
 - Thomas, F. M., T. Gausling, 2000: Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought, *Ann For Sci*, 57: 325. – 333.
 - Twum E. K. A., S. Nii-Annang, 2015: Impact of Soil Compaction on Bulk Density and Root Biomass of *Quercus petraea* L. at Re-

- claimed Post-Lignite Mining Site in Lusatia, Germany, *Applide Environ Soil Sci*, 2015: 504603
- Verónica, G., P. P. Luisa, R. Gerardoci, 2009: Allometric relations for biomass partitioning of *Nothofagus antarctica* trees of different crown classes over a site quality gradient, *For Ecol Manage*, 259: 1118. – 1126.
 - Vukelić J., Đ. Rauš, 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 1. – 310.
 - Vukelić, J., 2012: Šumska vegetacija Hrvatske, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet i Državni zavod za zaštitu prirode, 1. – 403.
 - Weemstra, M., F. J. Sterck, E. J. W. Visser, T. W. Kuyper, L. Goudzwaard, L. Mommer, 2017: Fine-root trait plasticity of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) forests on two contrasting soils, *Plant Soil*, 415: 175. – 188.
 - Wright, S. J., J. B. Yavitt, N. Wurzbarger, B. L. Turner, E. V. J. Tanner, E. J. Sayer, L. S. Santiago, M. Kaspari, L. O. Hedin, K. E. Harms et al., 2011: Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest, *Ecology*, 92: 1616. – 1625.
 - Zapater, M., C. Hossann, N. Bréda, 2011: Evidence of hydraulic lift in a young beech and oak mixed forest using ¹⁸O soil water labelling, *Trees*, 25: 885.

SUMMARY

The aim of this study was to examine the influence of climatic and edaphic conditions in two mixed stands (provenances) of common beech and sessile oak from eastern (Slavonski Brod - SB provenance) and northwestern (Karlovac - KA provenance) Croatia on the functional adaptation of growth and dry matter production of their natural saplings. The main differences between the provenances with regard to climatic conditions is reflected in the amount of precipitation. The amount of precipitation in the area of KA provenance is much higher than in the area of SB provenance (Table 1 and 2). In spite of, due to the unfavorable distribution of precipitation during the growth of the investigated saplings in the period 2016 – 2020, dry periods were more frequent in the KA provenance than in the SB provenance (Figure 1). Edaphic conditions (physical and chemical soil traits), did not significantly differ between the provenances. However, the soil of KA provenance was characterized by a slightly lighter structure (less clay and more skeletons) compared to the soil of SB provenance (Table 3 – 5 and Figure 2). Differences in growth and dry matter production, as well as in allometric growth relations between provenances and species were examined using two-way ANOVA. The obtained results indicate that the saplings from the KA provenance compared to the saplings from the SB provenance invested more dry matter in root growth (especially fine roots) and took root deeper. In addition, the saplings from the KA provenance developed a thicker and lower stem compared to the saplings from the SB provenance (Table 6 – 8). This indicates that the saplings from the KA provenance are functionally more adapted to the drought habitat. It could be the result of differently manifested phenotypic modification (drought response) and/or real genetic differences between provenances, which our research could not distinguish more accurately. The obtained differences in the growth and dry matter production between the sessile oak and the common beech saplings correspond to the already known patterns of their functional adaptation to the habitat humidity. It means that sessile oak saplings took deeper roots and invested more dry matter in the coarse roots compared to common beech saplings that took root more shallowly and invested more dry matter in the fine roots (Table 9).

KEY WORDS: *Quercus petraea* L., *Fagus sylvatica* L., drought, allometric growth relations, dry matter, fine roots, coarse roots, stem