

# Kvaliteta šumskog sadnog materijala – važnost, opis i metodologija

## Quality of Forest Planting Material – Importance, Description and Methodology

Martina Đodan\*, Andrija Barišić

Hrvatski šumarski institut, Jastrebarsko

\* Dopisna autorica: Martina Đodan, e-mail: martinat@sumins.hr

### Sažetak

Šumski reprodukcijski materijal (ŠRM) ključan je u svim šumskouzgojnim aktivnostima. Međutim, klimatske promjene dovode do promjena u pogodnosti staništa za pojedine šumske vrste što otežava planiranje i provođenje šumskouzgojnih aktivnosti. Stoga, da bi uspješno planirali i provodili šumskouzgojne aktivnosti potreban je kvalitetan ŠRM, posebice visokokvalitetne šumske sadnice prilagođene uvjetima staništa. Kvaliteta šumskih sadnica može se utvrditi raznim morfološkim i fiziološkim svojstvima, međutim, najvažnija su ona koja omogućuju preživljenje i rast šumske sadnice u sadašnjim, ali i budućim uvjetima staništa. Cjelokupnim pregledom i analizom dostupnih publikacija uočava se nedostatak recentnih znanstvenih publikacija i aktivnije znanstveno-istraživačke djelatnosti na temu kvalitativnih svojstava šumskih sadnica. K tome, utvrđivanje kvalitete šumskih sadnica na temelju morfoloških i fizioloških svojstava prilikom stavljanja na tržište kod većine vrsta nije obuhvaćeno zakonskim okvirima, stoga je cilj ovog rad I.) utvrditi morfološka i fiziološka svojstva šumskih sadnica koja ukazuju na njihovu kvalitetu i II.) dati opće preporuke za rasadničku proizvodnju šumskih sadnica ususret klimatskim promjenama. Provedenim istraživanjem utvrđeno je da kvaliteta šumskih sadnica zahtjeva integraciju morfoloških i fizioloških svojstava, pri čemu su izdvojena ona najvažnija za preživljenje i rast sadnice na terenu. Od morfoloških svojstava izdvajaju se: visina, promjer stabljike, odnos visine i promjera stabljike, kvaliteta korijenskog sustava i odnos korijenskog sustava i izbojaka. Fiziološka svojstva su: otpornost na hladnoću, otpornost na sušu i stanje hranjiva u tkivu šumskih sadnica. Za svako svojstvo dan je opis njegove važnosti za preživljenje i rast sadnice na terenu te način njegova utvrđivanja. Ističe se važnost unaprijeđena proizvodnog programa rasadničke proizvodnje i potrebitost staništu prilagođenih šumskih sadnica ususret novim izazovima koji stoje pred šumarskim sektorom u Republici Hrvatskoj. Iako teško predvidive, klimatske promjene i ugroze su neizbježne, stoga je kvalitetan i raznolik proizvodni program rasadnika šumskih sadnica u Republici Hrvatskoj potrebniji nego ikad kako bi se povećala otpornost šumskih sastojina na trenutne i predstojeće ugroze. Proizvodni program treba prepoznati trenutne i predstojeće obaveze kao i međunarodna kretanja sadnog materijala, recentne znanstvene spoznaje, potrebe praktičnog šumarstva i ostalih grana privrede, predviđanje promjena u pogodnosti staništa za šumske vrste te pronalaženje suvremenih rješenja prilagodbe šuma na predstojeće ugroze i izazove.

#### Ključne riječi:

morfološka svojstva, fiziološka svojstva, rasadnička proizvodnja, kvaliteta šumskih sadnica, šumski reprodukcijski materijal

#### DOI:

<https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.5>

#### Kako citirati / How to Cite:

Đodan, M., A. Barišić, 2026: Kvaliteta šumskog sadnog materijala – važnost, opis i metodologija. Šumarski list 150 (1–2): 47–54. <https://doi.org/10.31298/sl.150.1-2.5>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

## UVOD

### INTRODUCTION

Tek posađene šumske sadnice prolaze kroz niz razvojnih faza (Grossnickle 2000) te mogu biti izložene raznim okolišnim stresovima prije nego postanu dio šumskog ekosustava (Grossnickle 2016). Ako su okolišni stresovi preveliki ili su sadnice loše kvalitete može doći do odumiranja sadnica na terenu (Grossnickle 2012, Grossnickle i MacDonald 2018b). Utvrđivanje pojedinačnih morfoloških i fizioloških svojstava ne može predvidjeti mogućnost za preživljenje i rast sadnice na terenu (Lavender 1988, Puttonen 1997, Davis i Jacobs 2005), nego je potrebna integracija različitih funkcionalnih svojstava. Stoga, kvalitativna svojstva i prilagođenost uvjetima terena ključni su za preživljenje i rast sadnice (Grossnickle i MacDonald 2018b). Kvaliteta se utvrđuje različitim morfološkim i fiziološkim svojstvima, međutim, najpoželjnija svojstva su ona koja omogućuju najbolje šanse za preživljenje i rast sadnice u skladu s uvjetima na terenu (Ritchie i dr. 2010, Davis i Pinto 2021).

Istraživanja kvalitativnih svojstava u Republici Hrvatskoj (RH) posljednjih desetljeća odnose se na utvrđivanje pojedinih morfoloških ili fizioloških svojstava određenih vrsta u različitim uzgojnim uvjetima. Istraživani su: hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) (Roth 2002, Seletković i dr. 2011a, Drvodelić i dr. 2013, Crnković i dr. 2017, Hubak 2023), hrast kitnjak (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.) (Drvodelić i dr. 2013), poljski jasen (*Fraxinus angustifolia* Vahl) (Drvodelić i dr. 2016, Drvodelić i Oršanić 2020), obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) (Potočić i dr. 2009, Seletković i dr. 2009, 2011a), crni bor (*Pinus nigra* J.F.Arnold) (Seletković i dr. 2011b), primorski bor (*Pinus pinaster* Aiton) (Šolić 2017), divlja trešnja (*Prunus avium* L.) (Srša 2017), obični čempres (*Cupressus sempervirens* L.) (Topić i dr. 2009) i divlja kruška (*Pyrus pyraeaster* (L.) Burgsd.) (Drvodelić i dr. 2012).

U međunarodnoj znanstvenoj zajednici kvalitativna svojstva

i njihov utjecaj na preživljavanje i rast sadnica šumskih vrsta drveća na terenu dobro su istraživana i opisana (Haase 2008; Grossnickle 2000, 2012; Grossnickle i MacDonald 2018a, 2018b). Međutim, nedostatak dugotrajnijih znanstvenih istraživanja i praktičnog iskustva ograničavaju postavljanje kriterija evaluacije kvalitete sadnica, modernizaciju proizvodnje te edukaciju stručnog osoblja. Aktualna je i činjenica kako niti u RH niti u Europskoj Uniji (EU) ne postoji zakonski okvir kojim se utvrđuje kvaliteta sadnica na temelju morfoloških ili fizioloških svojstava prilikom stavljanja na tržište. Izuzetak čine dvije skupine: a) vrste iz roda *Populus* sp. (topole) razmnožene pomoću reznica te b) sadnice vrsta koje su namijenjene za prodaju na području mediteranske klime (Mataruga i dr. 2023).

U operativi je dostupno preko 30 metoda za utvrđivanje kvalitete sadnica (Mohammed 1997), međutim, danas se utvrđuje samo manji broj svojstava (Haase i Davis 2017, Grossnickle i MacDonald 2018b, Nyoka i dr. 2018). Stoga, otvara se potreba za definiranjem najvažnijih svojstava kvalitete na koja će biti usmjerena znanstvena istraživanja, ali i izdvajanja onih koja će biti lako primjenjiva u praksi. Ciljevi provedenog istraživanja su: I.) utvrditi morfološka i fiziološka svojstva šumskih sadnica koja ukazuju na njihovu kvalitetu; II.) dati opće preporuke za rasadničku proizvodnju šumskih sadnica ususret klimatskim promjenama.

## SVOJSTVA KOJIMA SE DEFINIRA KVALITETA ŠUMSKIH SADNICA

### ATTRIBUTES DEFINING THE QUALITY OF FOREST SEEDLINGS

Svojstva kojima definiramo kvalitetu sadnica mogu se podijeliti na morfološka i fiziološka (Grossnickle i MacDonald 2018b, Riikonen i Luoranen 2018). Neka od najčešće utvrđivanih svojstava u rasadnicima prikazana su u Tablici 1.

**Tablica 1.** Svojstva kojima se najčešće definira kvaliteta sadnica u rasadnicima (prilagođeno iz Grossnickle i MacDonald 2018b, Haase 2008).  
**Table 1** Attributes most commonly used to define the quality of seedlings (adapted from Grossnickle and MacDonald 2018b, Haase 2008).

Morfološka svojstva <i>Morphological Attributes</i>	Fiziološka svojstva <i>Physiological Attributes</i>
Razvoj i dužina pupova <i>Development and length of buds</i>	Fluorescencija klorofila <i>Chlorophyll fluorescence</i>
Masa suhih dijelova sadnice <i>Mass of dry parts of the seedling</i>	Otpornost na smrzavanje <i>Freezing tolerance</i>
Visina sadnice <i>Seedling height</i>	Stanje hranjiva <i>Nutrient status</i>
Promjer vrata korijena/promjer stabljike sadnice <i>Root collar diameter/seedlings stem diameter</i>	Stanje biljnih bolesti i štetnika <i>Plant diseases and pest status</i>
Omjeri (visina : promjer, krošnja : korijen) <i>Ratios (height : diameter, shoot : root)</i>	Vodni potencijal sadnice <i>Seedling water potential</i>
Kvaliteta korijenskog sustava (razgranatost, vlaknastost, dužina, itd.) <i>Root quality (branching, fibrosity, length, etc.)</i>	Kapacitet rasta korijena <i>Root growth capacity</i>
Masa korijena i izbojaka u svježem stanju <i>Fresh root and shoot mass</i>	Količina elektrolita u korijenu <i>Root electrolyte status</i>
Prirast izbojaka <i>Shoot growth</i>	Dormantnost pupova <i>Bud dormancy</i>
Kvaliteta izbojaka (broj pupova, broj grananja, nepravilnost grana, itd.) <i>Shoot quality (buds number, branching number, branch irregularities, etc.)</i>	
Boja, oblik i oštećenja sadnice <i>Color, form, and damage of seedlings</i>	

Morfološka se svojstva radi jednostavnosti i jeftinije cijene češće koriste od fizioloških prilikom utvrđivanja kvalitete sadnice (Haase 2008, Grossnickle i MacDonald 2018b). Utvrđivanje morfoloških svojstava ne zahtjeva sofisticiranu opremu i prethodnu edukaciju o rukovanju opremom (Nyoka i dr. 2018) te se svojstva značajno ne mijenjaju od trenutka izlaska sadnice iz rasadnika do mjesta sadnje. S druge strane, fiziološka svojstva se, ponekad i drastično, promijene. Tako prilikom utvrđivanja fizioloških svojstava prikazujemo samo trenutno stanje sadnice u trenutku testiranja (Ritchie i dr. 2010). Morfološka svojstva sadnica ne mogu se koristiti pojedinačno za procjenu kvalitete sadnice jer morfologija ne opisuje fiziološku snagu sadnice (Mexal i Landis 1990; Grossnickle 2000, 2012). Također, kvaliteta sadnice se ne može odrediti pojedinačnim fiziološkim svojstvima odvojeno od drugih fizioloških i morfoloških svojstava (Lavender 1988). Stoga, potrebna je njihova kombinacija za utvrđivanje kvalitete sadnice (Folk i Grossnickle 1997; Selektović i dr. 2009, 2011a). U nastavku su, pregledom dostupnih znanstvenih i stručnih publikacija, prepoznata i opisana morfološka i fiziološka svojstva koja se najčešće koriste za određivanje kvalitete sadnice.

### Morfološka svojstva šumskih sadnica – Morphological Attributes of Forest Seedlings

Morfologija se definira kao forma ili struktura nekog organizma (Drvodelić i Oršanić 2019). Morfologija sadnica predstavlja kombinacija triju čimbenika: porijekla sjemena, lokacije rasadnika i uzgojnih mjera (Drvodelić i Oršanić 2019). Morfološka svojstva smatramo pouzdanim pokazateljima kvalitete sadnica jer zadržavaju svoja obilježja dugo nakon što je sadnica posađena i započela s rastom (Puttonen 1997, Grossnickle 2012). Takva obilježja imaju ključnu ulogu, primjerice, u definiranju struktura za vodni potencijal sadnica pomoću kojih određujemo tolerantnost sadnice prema suši (McDowell i dr. 2008). Morfološku kvalitetu sadnice možemo utvrditi pomoću Dicksonova indeksa kvalitete (DQI), a računati se pomoću formule (Drvodelić i Oršanić 2019):

$$DQI = \frac{UB(g)}{\frac{H(cm)}{PVK(mm)} + \frac{MS(g)}{MK(g)}}$$

gdje je:

UB = ukupna biomasa sadnice u suhom stanju

H = visina nadzemnog dijela sadnice

PVK = promjer vrata korijena sadnice

MS = masa stabljike u suhom stanju

MK = masa korijena u suhom stanju

DQI se smatra dobrim pokazateljem kvalitete sadnica jer izračunava masivnost i distribuciju biomase uzimajući u obzir nekoliko važnih svojstava (Fonseca i dr. 2002). Što je DQI veći, sadnice su bolje morfološke kvalitete (Drvodelić i Oršanić 2019).

### Visina sadnice – Seedling Height

Definira se kao udaljenost od ožiljka kotiledona (supki) do baze vršnog pupa kod dormantnih sadnica ili vrha izbojka na sadnicama u vegetaciji (Drvodelić i Oršanić 2019). Više sadnice imaju određene prednosti kao što su bolji rast u odnosu na konkurenciju (Morrissey i dr. 2010, Thiffault i dr.

2014), veći dio krošnje izložen sunčevoj svjetlosti (Haase 2008), a posljedično i veću dostupnost lisne površine za proces fotosinteze (Grossnickle 2000). S druge strane, u lošijim stanišnim uvjetima, korijen ne može opskrbiti nadzemni dio sadnice s dovoljnom količinom vode uslijed transpiracije, što dovodi do vodnog stresa (Grossnickle i El-Kassaby 2015). Smatra se da sadnice s nižim rastom imaju prednost u lošijim stanišnim uvjetima (Grossnickle 2012), no Villar-Salvador i dr. (2015) tvrde da visoke sadnice s dovoljnom količinom pohranjenog hranjiva u tkivima uspijevaju i na takvim staništima. Vrlo visoke sadnice mogu biti teške za sadnju, lako ih je izbaciti iz ravnoteže i podložna su oštećenjima od vjetra (Haase 2008).

### Promjer stabljike ili promjer vrata korijena – Stem Diameter or Root Collar Diameter

Definira se kao promjer glavne stabljike na ožiljku ili blizu ožiljka kotiledona (Drvodelić i Oršanić 2019). Brojni autori navode (prikazano u Grossnickle i MacDonald 2018a) da sadnice s većim promjerom imaju veći postotak preživljenja i rasta na terenu u odnosu na one s manjim promjerom. Stoga, utvrđivanje promjera stabljike se smatra pouzdanim morfološkim svojstvom prilikom predviđanja preživljenja i budućeg rasta sadnice na terenu. Veći promjer stabljike ukazuje i na veći volumen korijenskog sustava (Haase 2008, Grossnickle 2012) što omogućuje bolje podnošenje suše (Thompson 1985). K tome, veći promjer stabljike doprinosi čvrstoći sadnice čime smanjuje štetu od suša i vrućina (Grossnickle 2012) te od konkurentne vegetacije (Mason 2001). Blake i dr. (1989) navode da su tanje sadnice (< 3 mm) zelene duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) imale visoko preživljenje (> 70 %) ukoliko su imale dobru masu korijena. Deblje sadnice (> 5 mm) su imale dobro preživljenje i s malom masom korijena.

### Odnos visine i promjera – Height : Diameter Ratio

Odnos između ukupne visine [cm] i promjera vrata korijena [mm] je koeficijent vitkosti ili vitkost (čvrstoća) sadnica (Drvodelić i Oršanić 2019). Vitke sadnice su pod većim utjecajem fizičkog opterećenja od vremenskih uvjeta (vjetar, snijeg, led) (Roller 1977), ali i težine svoje krošnje (Zhang i dr. 2020). Odnos se računa dijeljenjem visine s promjerom, a sadnice s iznosom odnosa od 7 ili manje označavaju se kao poželjne (Shin i dr. 2014). Zhang i dr. (2020) navode kako se odnos između visine i promjera može izraziti pomoću formule:  $\log(\text{visine}) = \alpha + \beta \log(\text{promjera})$ ; gdje je:  $\alpha$  = presjek, a  $\beta$  = alometrijski eksponent. Smatra se da je za sadnice i manja stabilca potreban iznos  $\beta \geq 1$  da bi se spriječilo puknuće stabljike.

### Korijenski sustav – Root System

Kvalitetan korijenski sustav sadnice odavno je povezan s uspješnim osnivanjem šumskih sastojina (Toumey 1916). Definiran je svojstvima kao što su masa, vlaknastost (raspored bočnih grana i vrhova) i potencijal rasta korijena (PRK) (Davis i Jacobs 2005). Kvalitetan korijenski sustav spreman je odmah uzimati vodu i hranjive tvari te pružati strukturnu potporu sadnici (Grossnickle i Ivetić 2022). U pravilu, što je korijen više vlaknast, to je apsorpcija veća (Carlson i Miller 1990). Na vlaknastost korijena može se utjecati s raznim uzgojnim postupcima u rasadniku, a još uvijek se istražuju nove metode poboljšanja vlaknastosti korijena (Grossnickle

i dr. 2020). Masa korijenskog sustava utvrđuje se volumenom (potapanjem korijena u vodu) ili kao suha masa korijena nakon 48 h sušenja u sušioniku na 68 °C (Haase 2008). PRK predstavlja sposobnost sadnice za stvaranjem novog korijena u idealnim uvjetima (Ritchie 1985). Obično se mjeri u kasnu zimu ili početkom proljeća sadnjom sadnica u posude ili hidroponske spremnike (Drvodelić i Oršanić 2019), a utvrđuje se nakon tri tjedna (Haase 2008).

### Odnos korijenskog sustava i izbojka – Root : Shoot Ratio

Ovaj je odnos pokazatelj ravnoteže između transpiracijske površine (izbojci) i apsorpcijske površine (korijenski sustav) sadnica. Općenito, kvalitetne sadnice golog korijena imaju odnos izbojka i korijena 3:1 ili manje, a kvalitetne kontejnerske sadnice 2:1 ili manje (Haase 2008, Drvodelić i Oršanić 2019). Računa se tako da se u odnos stavi volumen izbojaka s volumenom korijena, koji moraju biti u istoj mjernoj jedinici (Haase 2008). Povećanjem vlaknastosti korijena sadnice smanjuje se odnos korijenskog sustava i izbojaka sadnica (Grossnickle i Ivetić 2022) što povećava šanse za preživljenje sadnice na terenu (Thompson 1985).

### Fiziološka svojstva šumskih sadnica – Physiological Attributes of Forest Seedlings

Preživljenje sadnica na terenu velikim dijelom ovisi o sposobnosti sadnice na prilagodbu uvjetima tog staništa, kao i o njihovim fiziološkim svojstvima (Grossnickle 2012). Među glavnim čimbenicima staništa koji utječu na preživljenje sadnica izdvajaju se vodni kapacitet, nagle promjene temperature i stanje hranjiva u tlu (Grossnickle i MacDonald 2018b). Faulconer i Thompson (1984) ukazuju na to da je fiziologija sadnice glavni nositelj kvalitete sadnice, zbog čega se fiziološka svojstva smatraju pouzdanijim pokazateljima kvalitete od morfoloških (Selektović i dr. 2011a). Primarna svrha poboljšanja fizioloških svojstava je savladavanje stresa ili manjka hranjivih tvari u tkivima sadnice kako bi potpomogli rast korijena i izbojaka te na taj način osigurali preživljenje i primitak sadnice na terenu (Grossnickle i MacDonald 2018a). Kako bi se sadnice što bolje fiziološki prilagodile novim stanišnim uvjetima na terenu, u rasadnicima se često koristi koncept aklimatizacije sadnica na stresove karakteristične za stanište na koje dolaze (Kozlowski i Pallardy 2002).

### Otpornost na hladnoću – Cold Hardiness

Otpornost na hladnoću se mijenja pod utjecajem godišnjih doba (Burr 1990), a povezana je s prestankom rasta izbojaka i stvaranjem pupova, sazrijevanjem listova i sezonskim promjenama temperature (Grossnickle 2000). U zoni umjerene klime smanjenje dužine dana potiče stvaranje pupova (Williams i dr. 1972), što povećava otpornosti sadnica na hladnoću (Colombo i dr. 2001). Za definiranje stupnja otpornosti na hladnoću obično se koristi  $LT_{50}$  (letalna temperatura za 50 % populacije) (Drvodelić i Oršanić 2019). Definira se kao temperaturni minimum prilikom kojeg će određeni postotak slučajno odabranih sadnica iz populacije preživjeti ili uzrokovati određene razine oštećenja (Ritchie 1984). Iznos  $LT_{50}$  povezan je s ciklusom dormantnosti i otpornosti sadnica na stres, a na njega utječu porijeklo sjemena, uzgojni postupci i klima (Burr 1990). Jesenska aklimatizacija i skladištenje sadnica ključni su uzgojni postupci s kojima povećavamo otpornost na hladnoću i šanse za kasnije preživljenje na terenu (Grossnickle i South 2014). To se postiže čuvanjem u suvremenim hlad-

njačama na niskim pozitivnim temperaturama zraka i visokoj relativnoj zračnoj vlazi (Drvodelić i Oršanić 2019). Skladištenjem sadnica u pravo vrijeme izbjegava se oštećenje korijenskog sustava od smrzavanja, koje je manje otporno na hladnoću od izbojaka, te minimalizira utjecaj na smanjenje PRK-a (Malmqvist i dr. 2016, Drvodelić i Oršanić 2019).

### Otpornost na sušu – Drought Resistance

Otpornost na sušu zasluga je više svojstava kvalitete kao, primjerice, prilagodbe osmoze i elastičnosti stanične stijenke, otpornosti kloroplasta na sušu, sposobnosti stvaranja kutikule, osjetljivosti puči, morfološke ravnoteže sadnice i sposobnosti korijena za upijanje vode iz tla (Grossnickle 2012). Izlaganje sušnom stresu još je 80-ih godina 20. stoljeća prepoznato u razvoju kvalitetnih sadnica (Ritchie 1984). Izlaganjem sadnice suši krajem vegetacijskog razdoblja potiče se razvoj drva, što povećava preživljenje sadnica (Grossnickle 2012) i rast na terenu (Kozlowski i dr. 1991). Odrvenjavanjem sadnice potiče se oporavak fotosintetskog aparata nakon presadnje (Kaushal i Aussenec 1989), bolja je kontrola gubitka vode (Villar-Salvador 2004) te je bolji rast korijena sadnica posađenih na tla teških edafskih uvjeta (Grossnickle 2012). Navodnjavanjem reguliramo vodni stres u sadnici, dok je mjerenje vodnog stresa brza, mobilna, relativno jeftina i nedestruktivna metoda (Drvodelić i Oršanić 2019). Vodni stres u sadnici prikazuje se pomoću vodnog potencijala ( $\Psi_w$ ) koji odražava interakciju između dostupnosti vode, potražnje sadnice za vodom te regulacije vode u sadnici. Za mjerenje vodnog stresa najčešće se koristi prijenosna tlačna komora (Cleary i Zaerr 1980). Za vodni potencijal, koji se iskazuje u paskalima [Pa], važni su osmotski tlak ( $\Psi_\pi$ ) i turgor ( $\Psi_p$ ), a izračunava se prema formuli (Ritchie i dr. 1984):  $\Psi_w = \Psi_p + \Psi_\pi$

Pri 100 % zasićenosti vodom  $\Psi_w$  iznosi 0, odnosno vrijednosti tlakova su jednake. Kod gubitka sadržaja vode od 10 %,  $\Psi_w$  iznosi  $-0,5$  MPa, jer  $\Psi_p$  iznosi  $1,2$  MPa, a  $\Psi_\pi$   $-1,7$  MPa. Kod gubitka sadržaja vode od 30 %  $\Psi_p$  iznosi 0, a  $\Psi_\pi$  iznosi  $-2,5$  MPa. Iznos  $\Psi_p$  od 0 predstavlja kritičnu točku jer ta razina vodnog stresa uzrokuje sušenje sadnice (Ritchie i dr. 1984). Teški vodni stres može trajno oštetiti fotosintetski aparat i značajno smanjiti šanse za preživljenje i rast (Haase 2008).

### Stanje hranjiva – Nutrient Status

Nakupljanje rezervi hranjivih tvari u tkivima sadnice ključno je za preživljenje i rast na terenu (Selektović i dr. 2011a, 2011b; Grossnickle i MacDonald 2018a). Apliciranje gnojiva smatra se korisnim (Potočić i dr. 2009; Selektović i dr. 2011a, 2011b) jer tako osiguravamo sadnicama rezerve hranjivih tvari koje mogu aktivirati prilikom rasta (Ingestad i Lund 1986). Poznato je da se sadnice tretirane gnojivima odlikuju većom visinom i promjerom stabljike te bolje podnose sušu i presadnju u prirodna šumska staništa (Marušić i dr. 2021). Treba napomenuti kako je u prilikom sadnje sadnice na teren bitno trenutno stanje hranjiva, a ne načini i metode gnojidbe tijekom uzgoja u rasadniku (Everett i dr. 2007). Sadnice s optimalnim rezervama hranjivih tvari u svojim tkivima brzo se prilagođavaju okolišnim uvjetima čak i na lošijim stanišnim uvjetima (Luoranen i Rikala 2011). Za ispitivanje stanja hranjiva koristi se folijarno biljno tkivo iz kojeg se uklanja ugljična komponenta te se koristi emisijska spek-

trometrija s induktivno povezanom plazmom za određivanje koncentracija pojedinačnih hranjivih tvari (Haase 2007).

## POGLED U BUDUĆNOST

### A LOOK INTO THE FUTURE

Porast ugroza kojima su izložene sadnice nakon presadnje na teren iziskuje kvalitetnije i staništu prilagođenije sadnice. Osobito kada je riječ o zakorovljenim i degradiranim površinama i zahtjevnim zahvatima obnove, treba imati na umu da se radi o najosjetljivijem razdoblju novoosnovane šumske sastojine. Suvremeno gospodarenje šumama sve više poprima oblik „adaptiranog gospodarenja“ čija je sve važnija komponenta obnova šuma i šumskog krajolika nakon šteta (Jacobs i dr. 2015). Sve češće se govori o adaptiranom ŠRM koji obuhvaća sjeme, sadnice, reznice te biljke nastale prirodnom obnovom u šumskoj sastojini koje su bolje prilagođene na predstojeće klimatske te abiotske i biotske ugroze. Adaptirani ŠRM svojom kvalitetom, načinom uzgoja, ali i vrstom te genetskom konstitucijom osim trenutnim uvjetima mora odgovarati i uvjetima koji će tek nastupiti i u kojima mora postići vrhunac rasta i razvoja (Đodan i Perić 2022).

Dvije se kontradiktorne adaptacijske strategije gospodarenja šumama izdvajaju kao prilagodba na klimatske promjene (Yousefpour i Hanewinkel 2015, Sousa-Silva i dr. 2018). Prva strategija predstavlja adaptaciju vrstama (autohtonim ili alohtonim) koje su prilagođene i produktivne u sušnijim i toplijim uvjetima. Druga strategija je uspostavljanje sastojina od razolikih šumskih vrsta koje pružaju veći broj općekorisnih funkcija i otpornije su na biotske i abiotske utjecaje. Usto, proizvode veću nedrvnu biomasu i imaju veću sekvencijaciju ugljika (Guignabert i dr. 2024). Iako su teško predvidive, ugroze su neminovne, a nužnost rasadničke proizvodnje te proizvodnog plana i programa ususret novim ugrozama sve je očitija (Đodan i dr. 2023).

### Kako pristupiti rasadničkoj proizvodnji kvalitetnih šumskih sadnica - *How to Approach the Nursery Production of Quality Forest Seedlings*

Provedene analize rasadničke proizvodnje u RH ukazuju na visok udio sadnog materijala bjelogorice u ukupnoj proizvodnji, posebice klimatogenih vrsta (hrast kitnjak, hrast lužnjak, obična bukva), što ukazuje na sve veće oslanjanje prirodne obnove šuma na rasadničku proizvodnju (Đodan i dr. 2023). Primitak sadnica na terenu ovisi o funkcionalnom potencijalu rasta (koji je povezan s njihovim morfološkim i fiziološkim svojstvima), zajedno s reakcijom sadnice na okolišne uvjete koji mogu ograničavati ili stimulirati taj potencijal (Grossnickle 2000). Stoga, prilagođenost sadnica uvjetima staništa ima najveći utjecaj na njihov primitak (Rose i dr. 1990, Ivetić i dr. 2016). Iz toga proizlazi ideja da se kvaliteta sadnice definira prema mjestu sadnje, a ne prema protokoli rasadnika (Landis 2011). Budući da je postupak obnove šuma skup i dugotrajan proces (Đodan i Perić 2022), sadnice uzgojene u rasadniku moraju biti morfološki i fiziološki uravnotežene i spremne za rast i razvoj nakon sadnje (Dumroese i dr. 2016, Mataruga i dr. 2023) da bi se izbjegli nepotrebni troškovi.

Koncept „adaptiranih sadnica“ pokazao se kao dobra alternativna jer svojim morfološkim, a ponekad i fiziološkim

svojstvima, odgovaraju staništu za koje su namijenjene. Takav sadni materijal povećava postotak preživljenja i rasta sadnice na terenu (Đodan i Perić 2022). Iako ovaj koncept u prošlosti nije doživio puni potencijal zbog visoke cijene i teže proizvodnje, smatra se kako će se u skorijoj budućnosti radi promjena u globalnoj klimi koristiti isključivo ove sadnice u obnovi šuma ili pošumljavanju (Drvodelić i Oršanić 2019). Za proizvodnju takvih sadnica u rasadniku potrebno je izraditi operativne planove u kojima bi stručno osoblje vodilo bilješke o procesima i programu na dnevnoj bazi. Na taj način bi ustanovili koja su područja rasadničke proizvodnje usklađena s ciljem proizvodnje te područja koja treba dodatno uskladiti. Tako bi se osigurala pravovremena isporuka sadnica sa svojstvima karakterističnim za predviđeno stanište (Đodan i dr. 2023, Hassan i dr. 2024).

## ZAKLJUČCI

### CONCLUSIONS

Utvrđivanjem kvalitete smanjujemo šanse za odumiranjem sadnica na terenu te tako osiguravamo kvalitetnije provođenje šumskouzgojnih aktivnosti. Osim toga, nakon presadnje, možemo utvrditi jesu li odumiranje odnosno preživljenje i rast sadnica rezultati kvalitativnih svojstava ili drugih čimbenika. Ova saznanja mogu biti korisna za daljnja istraživanja na tu temu.

Utvrđivanje kvalitete sadnica treba kombinirati morfološka i fiziološka svojstva sadnica, što je i propisano zakonom o šumskom reprodukcijskom materijalu (NN 75/2009, 61/11, 56/13, 14/14, 32/19, 98/19) za pružanje informacija potrebnih za donošenje odluka u rasadniku i šumskoj operativi. Tako će se postići jedno od osnovnih načela koncepta adaptiranih sadnica, čime će rasadnici isporučivati sadnice s optimalnim morfološkim i fiziološkim svojstvima koje ispunjavaju ciljeve postavljene u operativi. S obzirom na velik utjecaj kvalitete sadnice na preživljenje, rast i produktivnost, neophodno je utvrditi kvalitetu sadnice prije presadnje na teren. Iako sadnja sadnica željenih morfoloških i fizioloških svojstava ne jamči ostvarenje ciljeva operative, svakako povećava šanse za uspjeh. Ipak, treba s osobitom pažnjom pristupati svim fazama vađenja, isporuke, transporta te sadnje na terenu u rasadniku proizvedenih šumskih sadnica jer njihova stečena morfološka i fiziološka svojstva mogu lako biti izgubljena nestručnim postupanjem. Jednako je važno da stručnjaci u šumskim rasadnicima i oni koji planiraju uzgojne zahvate na terenu kontinuirano surađuju kako bi planirani šumskouzgojni zahvati bili uspješni. Proizvodnja šumskih sadnica složen je i financijski zahtjevan proces koji zahtjeva višegodišnje planiranje te interdisciplinarni pristup. U tom planiranju neophodno je uzeti u obzir i potrebu za povećanjem bioraznolikosti šumskih vrsta drveća, ali i jačanje otpornosti šuma na sve aktualne i predstojeće ugroze.

## ZAHVALE

### ACKNOWLEDGMENTS

Financira Europska unija – NextGenerationEU. Izneseni stavovi i mišljenja samo su autorova i ne odražavaju nužno službena stajališta Europske unije ili Europske komisije. Ni Europska unija ni Europska komisija ne mogu se smatrati odgovornima za njih.

# LITERATURA

## REFERENCES

- Blake, J.I., L.D. Teeter, D.B. South, 1989: Analysis of the economic benefits from increasing uniformity in Douglas-fir nursery stock. *Forestry Supplement* 62: 251–261.
- Burr, K.E., 1990: The target seedling concepts: bud dormancy and cold hardiness. U: (Rose, R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): Target seedling symposium: combined proceedings of the Western Forest Nursery Associations. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13–17, 1990, pp. 79–90.
- Carlson, W.C., D.E. Miller, 1990: Target seedling root system size, hydraulic conductivity, and water use during seedling establishment. U (Rose, R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): Target seedling symposium: proceedings of the combined meeting of Western Forest Nursery Association. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13–17, 1990, pp. 53–66.
- Cleary, B.D., J.B. Zaerr, 1980: Pressure chamber techniques for monitoring and evaluating seedling water status. *New Zealand Journal of Forest Science* 10: 133–141.
- Colombo, S.J., M.I. Menzies, C. O'Reilly, 2001: Influence of nursery cultural practices on cold hardiness of coniferous forest tree seedlings. U (Bigras F.J., S.J., Colombo, ur.): *Conifer cold hardiness*. Springer, Dordrecht, pp. 223–252. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9650-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9650-3_9)
- Crnković, S., D. Drvodelić, S. Perić, 2017: Morfološke značajke kontejnerskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenske regije Gornja Posavina i Pokuplje (1.2.3.). *Šumarski list* 141 (9–10): 451–458. <https://doi.org/10.31298/sl.141.9-10.1>
- Davis, A., D. Jacobs, 2005: Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forest* 30: 295–311.
- Davis, A.S., J.R. Pinto, 2021: The scientific basis of the target plant concept: An overview. *Forests* 12: 1293. <https://doi.org/10.3390/f12091293>
- Drvodelić, D., M. Oršanić, 2019: Izbor kvalitetne šumske sadnice poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) za umjetnu obnovu i pošumljavanje. *Šumarski list* 143 (11–12): 577–585. <https://doi.org/10.31298/sl.143.11-12.8>
- Drvodelić, D., M. Oršanić, 2020: Sadnja sadnica poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u uvjetima sanacije šumskih sastojina uslijed sušenja. *Šumarski list* 144 (5–6): 289–301. <https://doi.org/10.31298/sl.144.5-6.6>
- Drvodelić, D., M. Oršanić, Z. Zeman, 2012: Uspjeh pošumljavanja jednogodišnjim (1+0) i školovanim (1+1) sadnicama divlje kruške (*Pyrus pyraeaster* Burgsd.). *Šumarski list* 136 (7–8): 355–366.
- Drvodelić, D., M. Oršanić, S. Perić, M. Tijardović, 2013: Utjecaj navodnjavanja i mikroreljefa u rasadniku na morfološka svojstva šumskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i kitnjaka (*Quercus petraea* L.). *Šumarski list* 137 (9–10): 447–459.
- Drvodelić, D., D. Ugarković, M. Oršanić, V. Paulić, 2016: The impact of drought, normal watering and substrate saturation on the morphological and physiological condition of container seedlings of narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl). *SEEFOR* 7 (2): 135–142. <https://doi.org/10.15177/seefor.16-11>
- Dumroese, R.K., T.D. Landis, J.R. Pinto, D.L. Haase, K.W. Wilkinson, A.S. Davis, 2016: Meeting forest restoration challenges: using the target plant concept. *Reforesta* 1: 37–52. <https://doi.org/10.21750/REFOR.1.03.3>
- Đodan, M., S. Perić, 2022: Stručni nadzor i pregled rasadničke proizvodnje šumskog sadnog materijala u Republici Hrvatskoj tijekom 2021. godine. *Radovi (Hrvatski šumarski institut)* 48 (1): 48–56.
- Đodan, M., R. Bogdanić, M. Građević-Poštenjak, S. Perić, 2023: Proizvodnja šumskog sadnog materijala bjelogorice u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2017. do 2021. godine. *Šumarski list* 147 (11–12): 555–564. <https://doi.org/10.31298/sl.147.11-12.6>
- Everett, K.T., B.J. Hawkins, S. Kiiskila, 2007: Growth and nutrient dynamics of Douglas-fir seedlings raised with exponential or conventional fertilization and planted with or without fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 2552–2562.
- Faulconer, J.R., B.E. Thompson, 1984: Benefits of knowing seedlings quality. *Western Forest Nursery Council-Intermountain Nurseryman's Association*, pp. 84–87.
- Folk, R.S., S.C. Grossnickle, 1997: Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New Forests* 13: 121–138. <https://doi.org/10.1023/A:1006514805052>
- Fonseca E.P., S.V. Valéri, E. Miglioranza, N.A.N Fonseca, L. Couto, 2002: Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore* 26 (4): 515–523.
- Grossnickle, S.C., 2000. *Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings*. NRC Research Press: 407, Ottawa. <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/21.7.415>
- Grossnickle, S.C., 2005: Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forest* 30: 273–294. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>
- Grossnickle, S.C., 2012: Why seedlings survive: importance of plant attributes. *New Forest* 43: 711–738. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>
- Grossnickle, S.C., 2016: Restoration silviculture: An ecophysiological perspective - Lessons learned across 40 years. *Reforesta* 1: 1–36. <https://doi.org/10.21750/REFOR.1.02.2>
- Grossnickle, S.C., D.B., South, 2014: Fall acclimation and the lift/store pathway: effect on reforestation. *The Open Forest Science Journal* 714 (1): 1–20. <https://doi.org/10.2174/1874398601407010001>
- Grossnickle, S.C., J.E. MacDonald, 2018a: Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forest* 49: 1–34. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>
- Grossnickle, S.C., J.E. MacDonald, 2018b: Seedling quality: History, application, and plant attributes. *Forests* 9 (5): 283. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Grossnickle, S.C., V. Ivetić, 2022: Root system development and field establishment: effect of seedling quality. *New Forests* 53: 1021–1067. <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>
- Grossnickle, S.C., Y. El-Kassaby, 2015: Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. *New Forests* 47: 1–51. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9476-6>
- Grossnickle S.C., S.B. Kiiskila, D.L. Haase, 2020: Five questions to explore in the nursery for optimizing subsequent field success. *Tree Planters' Note* 63 (2): 112–127.
- Guignabert, A., M. Jonard, C. Messier, F. André, F. de Coligny, F. Doyon, Q. Ponette, 2024: Adaptive forest management improves stand-level resilience of temperate forests under multiple stressors. *Science of The Total Environment* 948: 174168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174168>
- Haase, D.L., 2007: Morphological and physiological evaluations of seedling quality. U (Riley, L.E., R.K. Dumroese, T.D. Landis, ur.): *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006*. Proceedings RMRS-P-50, pp. 3–8.
- Haase, D.L., 2008: Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation, *Tree Planters' Note* 52: 24–30. <http://www.rngr.net/publications/tpn/52-2>
- Haase, D.L., C. Pike, S. Enebak, L. Mackey, Z. Ma, C. Silva, 2020: Forest nursery seedling production in the United States—Fiscal year 2019. *Tree Planters' Note* 63: 26–31.
- Haase, D.L., A.S. Davis, 2017: Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. *Reforesta* 4: 69–93. <https://doi.org/10.21750/REFOR.4.06.4>
- Hassan, K., R. Kataja, A. Pappinen, 2024: State of the art and business development of a tree seedling nursery: A guidebook on advanced forest nursery management. *Publications of the University of Eastern Finland, Reports and Studies in Science, Forestry and Technology*, 8.
- Hubak, T.K., 2023: Utjecaj kondicionera tla na preživljavanje i morfološko-fiziološko stanje šumskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) nakon sadnje na terenu. *Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb*.
- Ingestad, T., A.B. Lund, 1986: Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 439–453.
- Ivetić, V., J. Devetaković, M. Nonić, D. Stanković, M. Šijačić-Nikolić, 2016: Genetic diversity and forest reproductive material - from seed source selection to planting. *iForest* 9: 801–812. <https://doi.org/10.3832/ifor1577-009>

- Jacobs, D., J.A. Oliet, J. Aronson, A. Bolte, J.M. Bullock, P.J. Donoso, S.M. Landhausser, P. Madsen, S. Peng, J.M. Rey-Benayas, J.C. Weber, 2015: Restoring forests: What constitutes success in the twenty-first century? *New Forest* 46: 601–614. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9513-5>
- Kaushal, P.G., P. Aussenc, 1989: Drought preconditioning of Corsican pine and Cedar of Atlas seedlings: Photosynthesis, transpiration and root regeneration after transplanting. *Acta Oecologica* 11: 61–78.
- Kozłowski, T.T., P.J. Kramer, S.G. Pallardy, 1991: The physiological ecology of woody plants. Academic Press, New York, Tokyo, London, Toronto, Sydney.
- Kozłowski, T.T., S.G. Pallardy, 2002: Acclimation and adaptive response of woody plants to environmental stress. *The Botanical Review* 68: 270–334. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0270:AAAROW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0270:AAAROW]2.0.CO;2)
- Landis, T.D., 2011: The target plant concept – a history and brief overview. U (Riley, L.E., D.L. Haase, J.R. Pinto, ur.): *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations - 2010*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, pp. 61–66.
- Lavender, D.P., 1988: Characterization and manipulation of the physiological quality of planting stock. U (Worrall, J., J. Loo-Dinkins, D. Lester, ur.): *Proceeding of the 10th North American Forest Biology Workshop, Physiology and Genetics of Reforestation*. Vancouver, BC, Canada, 20–22 July 1988, UBC Press, pp. 32–57.
- Luoranen J., R. Rikala, 2011: Nutrient loading of Norway spruce seedlings hastens bud burst and enhances root growth after outplanting. *Silva Fennica* 45 (3): 319–332.
- Malmqvist, C., K. Wallertz, A. Lindström, 2016: Storability and freezing tolerance of Douglas fir and Norway spruce seedlings grown in mid-Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 1–22.
- Marušić, M., N. Potočić, I. Seletković, M. Ognjenović, I. Sirovica, K. Sever, 2021: Utjecaj hraniva u interakciji sa sušnim stresom na fiziološki odziv sadnica bukve u plasteničkom pokusu. U (Ivanković, A., R. Beljo Lučić, D. Čurić, ur.): *Prezentirani radovi na Danu doktorata biotehničkog područja 2021.*, Zagreb, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2021, pp. 54–56.
- Mason, E.G., 2001: A model of the juvenile growth and survival of *Pinus radiata* D. Don: adding the effects of initial seedling diameter and plant handling. *New Forest* 22: 133–158. <https://doi.org/10.1023/A:1012393130118>
- Mataruga, M., B. Cvjetković, B. De Cuyper, I. Aneva, P. Zhelev, P. Cudlín, M. Metslaid, V. Kankaanhuhta, C. Collet, P. Annighöfer, T. Mathes, T. Marianthi, P. Despoina, R.J. Jónsdóttir, M.C. Monteverdi, G. de Dato, B. Mariotti, D.D. Kolevska, J. Lazarević, I. Sundheim Fløistad, M. Klisz, W. Gil, V. Paiva, T. Fonseca, V.N. Nicolescu, V. Popović, J. Devetaković, I. Repáč, G. Božić, H. Kraigher, E. Andivia, J.J. Diez, H. Böhlenius, M. Löf, N. Bilir, P. Villar-Salvador, 2023: Monitoring and control of forest seedling quality in Europe. *Forest Ecology and Management* 546: 121308.
- McDowell, N., W.T. Pockman, C.D. Allen, D.D. Bershears, N. Cobb, T. Kolb, J. Plaut, J. Sperry, A. West, D.G. Williams, E.A. Yezpe, 2008: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?. *New Phytologist* 178: 719–739.
- Mexal, J.G., T.D. Landis. 1990: Target seedling concepts: height and diameter. U (Rose, R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): *Target seedling symposium: combined proceedings of the Western Forest Nursery Associations*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13-17, 1990, pp.17–35.
- Mohammed, G.H., 1997: The status and future of stock quality testing. *New Forest* 13: 491–514. <https://doi.org/10.1023/A:1006571718255>
- Morrissey, R.C., D.F. Jacobs, A.S. Davis, R.A. Rathfon, 2010: Survival and competitiveness of *Quercus rubra* regeneration associated with planting stocktype and harvest opening intensity. *New Forest* 40: 273–287. <https://doi.org/10.1007/s11056-010-9199-7>
- Nyoka, B.I., R. Kamanga, J. Njoloma, R. Jamnadass, S. Mng'omba, S. Muwanje, 2018: Quality of tree seedlings produced in nurseries in Malawi: an assessment of morphological attributes. *Forests, Trees and Livelihoods* 27 (2): 103–117. <https://doi.org/10.1080/14728028.2018.1443027>
- Potočić, N., I. Seletković, M. Čater, T. Čosić, M. Šango, M. Vedriš, 2009: Ekofiziološki odziv suncu izloženih sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) pri različitim razinama gnojidbe. *Šumarski list* 133 (5–6): 289–300. <https://hrcak.srce.hr/39501>
- Puttonen, P., 1997: Looking for the 'silver bullet' – can one test do it all? *New Forest* 13: 9–27. <https://doi.org/10.1023/A:1006557502326>
- Riikonen, J., J. Luoranen, 2018: Seedling production and the field performance of seedlings. *Forests* 9: 740. <https://doi.org/10.3390/f9120740>
- Ritchie, G.A., 1984: Assessing seedling quality. U (Duryea, M.L., T.D. Landis, ur.): *Forest nursery manual: production of bareroot seedlings*. Boston (MA): Martinus Nijhoff/Dr W Junk Publishers, pp. 243–259.
- Ritchie, G.A., 1985: Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. U (Duryea, M.L., ur.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Proceedings of a workshop held October 16-18, 1984. Corvallis (OR): Oregon State University, pp. 93–106.
- Ritchie, G.A., T.D. Landis, R.K. Dumroese, 2010: Assessing plant quality. *The Container Tree Nursery Manual*, USDA Forest Service, pp. 17–81.
- Roller, K.J., 1977: Suggested minimum standards for containerized seedlings in Nova Scotia. Fisheries and Environment Canada, Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre. Information Report M-X-69: 18.
- Rose, R., W.C. Carlson, P. Morgan, 1990: The target seedling concept. U (Rose R., S.J. Campbell, T.D. Landis, ur.): *Target seedling symposium: combined proceedings of the Western Forest Nursery Associations*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Roseburg, August 13–17, 1990, pp. 1–8.
- Roth, V., 2002: Različita svojstva hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz sjemenskih zona i sjemenskih jedinica Hrvatske, u rasadniku i šumskoj kulturi. *Doktorski rad*, Šumarski fakultet, Zagreb.
- Seletković, I., N. Potočić, A. Jazbec, T. Čosić, T. Jakovljević, 2009: Utjecaj različitih sjetvenih supstrata i vrsta sporotopivih gnojiva na rast i fiziološke parametre sadnica obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) u rasadniku i nakon presadnje. *Šumarski list* 133 (9–10): 469–481. <https://hrcak.srce.hr/42431>
- Seletković, I., N. Potočić, M. Šango, 2011a: Useability of Hungavit, a preparation for foliar application, for enhancement of quality of common beech (*Fagus sylvatica* L.) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings in nursery production. *Šumarski list* 135 (13): 247–247.
- Seletković, I., N. Potočić, V. Topić, L. Butorac, G. Jelić, A. Jazbec, 2011b: Utjecaj različitih tipova kontejnera i doza sporotopivog gnojiva na rast i fiziološke parametre sadnica crnog bora (*Pinus nigra* Arnold). *Šumarski list* 135 (13): 90–101.
- Shin, H.C., J.H. Yoon, S.M. Choi, Y.B. Park, K.O. Choi, J.H. Lee, E.J. Jin, 2014: Development of Landscape Trees for Indoor Cultivation Using Evergreen Broad-Leaved Tree Species. *National Forest Research Institute, Korea, Seoul*, pp. 14–17.
- Sousa-Silva R., B. Verbist, A. Lomba, P. Valent, M. Suškevičs, O. Picard, M.A. Hoogstra-Klein, V. Cosofret, L. Bouriaud, Q. Plonette, K. Verheyen, B. Muys, 2018: Adapting forest management to climate change in Europe: Linking perceptions to adaptive responses. *Forest Policy and Economics* 90: 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.004>
- Srša, S., 2017: Rasadnička kljavost i morfološke značajke dvogodišnjih sadnica (2+0) divlje trešnje (*Prunus avium* L.) različitog načina predstjetvene pripreme sjemena. *Diplomski rad*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb.
- Šolić, I., 2017: Utjecaj ektomikorize na kvalitetu kontejnerskih sadnica primorskog bora (*Pinus pinaster* Aiton). *Diplomski rad*, Sveučilište u Zagreb, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb.
- Thiffault N, R. Jobidon, A.D. Munson, 2014: Comparing large containerized and bareroot conifer stock on sites of contrasting vegetation composition in a non-herbicide scenario. *New Forest* 45: 875–891. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9443-7>
- Thompson, B.E. 1985: Seedling morphological evaluation: what you can tell by looking. U (Duryea M.L., ur.): *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive ability of major tests*. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, pp. 59–72.
- Topić, V., L. Butorac, Z. Đurđević, B. Kekelić, G. Jelić, 2009: Utjecaj tipa kontejnera na rast i razvoj sadnica običnog čempresa (*Cupressus sempervirens* var. *pyramidalis* Nyman) u rasadniku i šumskoj kulturi. *Šumarski list* 133 (3–4): 121–134.
- Toumey, J.W., 1916: *Seeding and planting*. Wiley, New York.
- Villar-Salvador, P., M. Uscola, D.F. Jacobs, 2015: The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees. *New Forests* 46: 813–839. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9499-z>

- Villar-Salvador, P., R. Penuelles, J. Oliet, E. Enriquez, J.L. Penuelas, D.F. Jacobs, M. Gonzalez 2004: Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex*) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree Physiology* 24: 1147–1155. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.10.1147>
- Yousefpour, R., M. Hanewinkel, 2016: Forestry professionals' perceptions of climate change, impacts and adaptation strategies for forests in south-west Germany. *Climatic Change* 130: 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1330-5>
- Williams, B.J., N.E. Pellett, R.M. Klein, 1972: Phytochrome control of growth cessation and initiation of cold acclimation in selected woody plants. *Plant Physiology* 50: 262–265.
- Zakon o šumskom reprodukcijskom materijalu (NN 75/2009, 61/11, 56/13, 14/14, 32/19, 98/19)
- Zhang W.P., L. Zhao, M. Larjavaara, E.C. Morris, F.J. Sterck, G.X. Wang, 2020: Height-diameter allometric relationships for seedlings and trees across China. *Acta Oecologica* 108: 103621. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103621>

## Abstract

Forest reproductive material (FRM) is essential for silvicultural activities. Climate change impacts site suitability for certain species, complicating the planning and execution of activities. High-quality FRM, especially seedlings adapted to local conditions, is crucial for planting to be effective. Seedling quality can be determined by various attributes, but the most important attributes are those that enable the survival and growth of forest seedlings in current and future site conditions. A review of current publications shows a lack of recent scientific studies and active research on the qualitative properties of forest seedlings. Additionally, there is insufficient legal framework for assessing seedling quality based on their morphological and physiological attributes when marketed for most species. The aim of this paper is I) to determine the morphological and physiological attributes of forest seedlings that affect their quality, and II) to provide general recommendations for nursery production of forest seedlings in the face of climate change. The research determined that the quality of forest seedlings requires the integration of morphological and physiological attributes, emphasizing the most important ones for the survival and growth of seedlings in the field. For each attribute, its significance for seedling survival and growth in the field is described, along with the determination method. Nursery production programs and general recommendations for producing forest seedlings due to climate changes are emphasized. While difficult to predict, threats are inevitable; therefore, a quality production program is more essential than ever.

**Keywords:** morphological attributes, physiological attributes, nursery production, quality of forest seedlings