

# The effect of competition between adult trees on natural regeneration of fir in beech-fir (with spruce) stands on Bjelašnica mountain

Utjecaj konkurencije odraslih stabala na podmlađivanje jele u šumama bukve i jele (sa smrčom) na Bjelašnici

Sead Ivojević<sup>1,\*</sup>, Ćemal Višnjjić<sup>1</sup>, Mehmed Čilaš<sup>1</sup>, Osman Mujezinović<sup>1</sup>, Damir Prljača<sup>1</sup>, Kenan Zahirović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

<sup>2</sup> JP "ŠPD ZDK" d. o. o. Zavidovići, Alije Izetbegovića 25, 72220 Zavidovići, Bosna i Hercegovina, PJ "Šumarija" Vareš

## ABSTRACT

Silver fir is one of the most important tree species not only in Bosnia and Herzegovina, but also in whole of Europe. For natural regeneration of fir, the most important factors are site condition, share of fir in the stand and tree species composition. The aim of this study was to determine if there are statistically important differences in the number of seedlings and height increment at different competition situations between adult trees. Study area was located at Bjelašnica mountain. Data were collected on circular plots with a radius of 12.62m for trees with dbh above 5 cm, and radius 3 m for regeneration layer. The competition is expressed using Hegyi competition index, where for the calculation a dominant tree from each quadrant was used. We analysed the total number of fir individuals in regeneration layer and height increment for categories 50-130 cm height and 0.1-5 cm dbh. The results showed that there are no statistically significant differences in the number of for seedlings at different values of the Hegye index. Statistically significant differences were found in terms of height increment. Height increment decreased with increasing competition between trees.

**Key words:** regeneration, silver fir, competition, Hegyi index, height increment

## INTRODUCTION - Uvod

Jela (*Abies alba* Mill.) je jedna od najznačajnijih vrsta drveća ne samo u Bosni i Hercegovini nego i u Evropi, iz mnogih ekoloških i ekonomskih razloga. Smatra se temeljnom vrstom u šumskim ekosistemima prebornog načina gospodarenja zbog njene tolerancije na zasjenu, plastičnost na uvjete okoline i heterogene vertikalne strukture sastojine (Mauri i dr. 2016). Tako su, naprimjer, u istraživanju Cavlovic i dr. (2008) u podstojnoj etaži

161 godinu staroj kulturi smrče evidentirali prisustvo jedinke jele, prečnika 5.2 cm, visine oko 2.91 m, a čija je starost iznosila 93 godine.

Brojni su faktori koji limitiraju prirodno podmlađivanje jele (Dobrowolska i dr. 2017; Grassi i dr. 2004; Klopčič i dr. 2015; Świerkosz i dr. 2014), kao što su, naprimjer, sastav vrsta drveća u sastojini (Dobrowolska 1998), divljač (Jarni i dr. 2004), neadekvatni uzgojni tretmani (Bernadzki 2008) i slično. Pojava i razvoj prirodnog podmlatka

\* Corresponding author: prof. dr. Sead Ivojević, s.ivojevic@sfsa.unsa.ba

ovisi i od karakteristika površinskog sloja tla (Grunda 1972) i konkurencije prizemne vegetacije (Jaworski 1973). Rezultati istraživanja do koje je došla Dobrowolska (1998) te Dobrowolska i Bolibok (2019) ukazuju da tri osnovne karakteristike sastojine: uslovi staništa, udio jele u sastojini i sastav vrsta drveća, igraju veoma važnu ulogu na podmlađivanje jele, dok istraživanje Dubravac i dr. (2007) ukazuje i na značaj sklopa krošanja. Pored toga, značajan faktor su i mikroklimatski uvjeti u sastojini, a istraživanje Ugarković i dr. (2018) ukazuje da se to u prvom redu odnosi na temperaturu zraka, relativnu vlažnost zraka i temperaturu tla, dok Dubravac i dr. (2007) još navode i vlažnost tla. Za klijanje i preživljavanje potrebno je svega 1% od ukupne dnevne svjetlosti, dok za intenzivni rast je potrebno višestruko više (Ammer 1996). Za 5–8 godina stare biljke jele optimalna količina svjetlosti je 10–18%, dok za starije jedinke i do 25% od ukupne dnevne svjetlosti (Robakowski i dr. 2004). Dosadašnji način gospodarenja na Igmanu doveo je do toga da je prekidanje sklopa uglavnom bilo prejako, usljed čega je došlo do intenzivnog priliva svjetla. Zato je na mnogim površinama došlo do zakorovljavanja, što je gotovo onemogućilo pojavu prirodnog podmlatka, a ukoliko se se javio, ugušio ga je veoma bujan korov. Zato bi se moglo reći da je najčešći uzrok izostanka prirodnog podmlatka upravo prejak priliv svjetla, sa svim negativnim posljedicama (Pintarić 1970).

Konkurentski odnosi između drveća uzrokovani su neravnomjernim prostornim rasporedom drveća, vrsta i mikroklimom (Wang i dr. 2020). Različite individue trpe različite pritiske u borbi za svjetlom, vlagom, hranjivim materijama i drugim resursima (Weiskittel i dr. 2011), što rezultira fiziološkim slabljenjem ili odumiranjem biljaka. Prema tome, od konkurentskog pritiska drugih vrsta ovisi i socijalni položaj neke vrste drveća u sastojini, a samim time i količina svjetla koju dobiva. Poznato je da od količine svjetla u velikoj mjeri ovisi i obilnost plodnošenja (Mekić 1998), kao jedan od glavnih preduvjeta za prirodno podmlađivanje. Količina svjetla predstavlja također i jedan od najvažnijih resursa za preživljavanje, pojavu i rast podmlatka (Claveau i dr. 2002; Pacala i dr. 1994). Podmladak koji raste uz prisustvo više svjetla je generalno veći i proizvodi više biomase od podmlatka sa manjim prilivom svjetla, bez obzira na vrstu drveća i njene karakteristike (Chen 1997; Lilles i Astrup 2012).

Cilj ovog rada je istražiti utjecaj konkurencije između odraslih stabala na podmlađivanje jele. Kroz istraživanje će se pokušati utvrditi postoje li značajne razlike u brojnosti podmlatka i visinskom prirastu pri različitim konkurentskim odnosima odraslih stabala.

## MATERIAL AND METHODS - Materijal i metode istraživanja

### STUDY AREA - Područje istraživanja

U širem smislu područje istraživanja locirano je u unutrašnjim Dinaridima, tačnije sjeverne i sjeveroistočne padine Bjelašnice. Po teritorijalno-prostornom uređenju obuhvata ŠPP "Igmansko", GJ "Igman" odnosno u užem smislu odjele I11, I13, I14 i I15. U fitocenološkom smislu radi se uglavnom o šumama bukve i jele sa smrčom (*Abieti-Fagetum iliricum* Fuk. et. Stef. 1958), dok su dijelom obuhvaćene i subalpinske bukove šume. U vertikalnom pogledu, područje istraživanja obuhvata dijapazon od 1200 m n. v. do 1600 m n. v. Srednja godišnja temperatura zraka, za period od 2003. do 2014. godine, (meteorološka stanica Bjelašnica), iznosila je 1,75 °C, što upućuje na izrazit planinsko-alpski karakter klime ovog područja. Srednja godišnja količina padavina za vrh Bjelašnice iznosi 1.396 mm. Najsušniji mjeseci (mjeseci sa najmanjom količinom padavina) su april, maj i august, dok su oktobar, novembar i decembar mjeseci u kojima dolazi najveća količina padavina. Od ukupne količine padavina u toku vegetacionog perioda, na Bjelašnici padne 23,66% od ukupne količine padavina. U geološkom smislu područje je uglavnom izgrađeno od krečnjaka i dolomita. Najzastupljenija zemljišta su smeđa krečnjačka zemljišta (kalkokambisoli), krečnjačke crnice (kalkomelanosoli), te u manjoj mjeri ilimerizirana zemljišta (luvisoli). Pobrajani tipovi zemljišta pojavljuju se pojedinačno ili u mozačnim kombinacijama kalkomelanosol-kalkokambisol na nagnutim predjelima, te kalkomelanosol-kalkokambisol-luvisol na zaravnjenijim terenima odnosno vrtačama. Na određenim lokalitetima se mogu još uvijek susresti i inicijalne forme zemljišta.

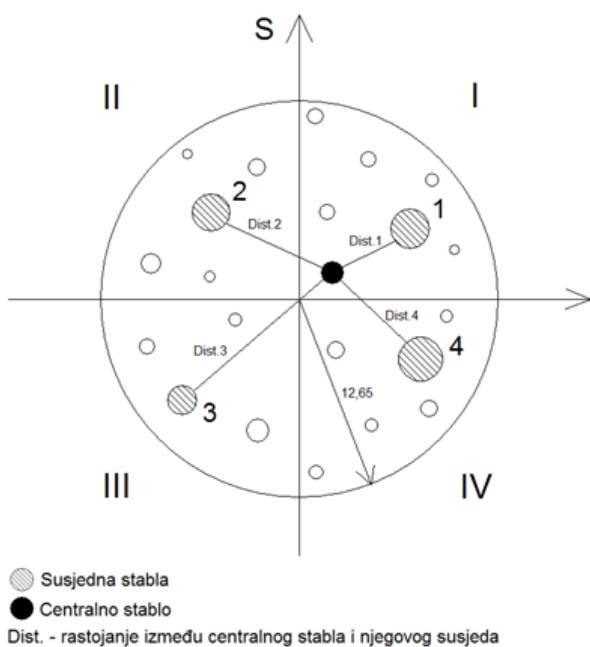
### RESEARCH OBJECT AND DATA COLLECTION - Objekt istraživanja i prikupljanje podataka

Objekat istraživanja u ovom radu bile su eksperimentalne plohe kružnog oblika raspoređene sistematski u obliku mreže u razmacima od 100 metara. Mreža je položena u tri transekta po 27 ploha koji se prostiru kroz šumska odjeljenja broj: I11, I13, I14 i I15 gospodarske jedinice "Igman", lokalitet Ravna vala. Za utvrđivanje strukturnih karakteristika sastojine postavljene su kružne plohe fiksnog radijusa  $r = 12,62$  m (površine 500 m<sup>2</sup>) i prikupljeni su sljedeći podaci: pripadnost vrsti drveća, prečnik stabla na 1.3 m (stabla prečnika većeg od 5 cm), visina i položaj stabala u odnosu na centar kruga polaranom metodom (četiri dominantna stabla, u svakom kvadrantu po jedno po stranama svijeta). Podmladak je evidentiran s obzirom na brojnost i pripadnost datoj vrsti, a prema uzrastu je klasificiran na (Lojo i dr. 2008):

- ponik uzrasta 0,1–9,9 cm,
- podmladak uzrasta 10,0–49,9 cm,
- podmladak uzrasta 50,0–130,0 cm i
- podmladak prsnog prečnika 0,1–5,0 cm

Za dvije najviše uzrasne kategorije podmlatka (od 50 do 130 cm visine i prsnog prečnika od 0,1 do 5 cm) utvrđen je visinski prirast za zadnjih 10 godina. Visinski prirast je utvrđen mjerenjem dužine internodija po godinama, ukupno 10 godina od godine mjerenja. Mjerenje je vršeno pomoću lenjira ili u slučaju većih biljaka pomoću Vertexa IV.

Za procjenu konkurencije između stabla i procjenu utjecaja konkurencije na brojnost i kvalitet jelovog podmlatka, primijenjen je indeks po Hegyiu. Kao ulazni podaci korišteni su prsni prečnici i rastojanja između stabala. Kao centralno stablo uzeto je stablo koje je najbliže centru primjerne plohe, a kao konkurentna stabla se teoretski mogu uzeti sva stabla na primjernoj plohi, što daje tačnije vrijednosti samo za stabla u sredini plohe. U ovom radu u obračun su uzeta četiri dominantna stabla (stabla najvećih dimenzija po prečniku i visini), po jedno u svakom kvadrantu (prostor koji ograničavanju pravci prema glavnim stranama svijeta) i centralno stablo (stablo najbliže centru kruga) (slika 1).



Slika 1. Primjer odabira stabala za računanje Hegyi indeksa po kvadrantima po stranama svijeta

Figure 1. Example of tree sampling used for calculating Hegyi index per quadrant and direction

## DATA PROCESSING - Obrada podataka

Svi prikupljeni podaci o sastojini i podmlatku uneseni su sa terenskih manuala u MS Excel u kojem su jednim dijelom obrađeni ili pripremljeni za importovanje u statističke programe Statistica i STATGRAPHICS Centurion.

Hegyiev indeks izračunat je po sljedećem obrazcu:

$$\text{Hegy index} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i} \cdot \text{DIST}$$

gdje je:

n = broj susjednih stabala

d = prsni prečnik centralnog stabla "i" i njegovog susjeda "j"

DIST = rastojanje između centralnog stabla "i" i njegovog susjeda "j"

S obzirom na to da je u analizu uzeta 81 eksperimentalna ploha kružnog oblika i da je za svaku izračunat Hegyi indeks, u cilju jasnijeg sagledavanja zavisnosti ukupne brojnosti podmlatka jele i visinskog prirasta dvije najviše uzrasne kategorije podmlatka jele od Hegyi indeksa, dijapazon izračunatih indeksa je podijeljen u 6 intervala i to:

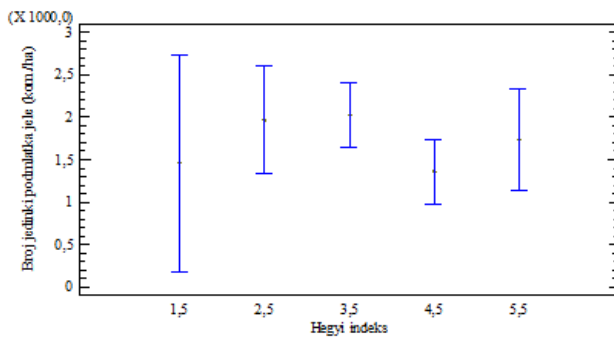
- 0,5 (0,00–0,99)
- 1,5 (1,00–1,99)
- 2,5 (2,00–2,99)
- 3,5 (3,00–3,99)
- 4,5 (4,00–4,99)
- 5,5 (5,00–6,00)

Vrijednosti Hegyievog indeksa kretale su se u dijapazonu od 0,00 do 9,63. Prilikom analize nisu razmatrane plohe sa vrijednostima indeksa iznad 6.

## RESULTS - Rezultati istraživanja

### EFFECT OF COMPETITION BETWEEN TREES ON ABUNDANCE OF FIR SEEDLINGS - Utjecaj konkurencije između stabala na brojnost podmlatka jele

Za ispitivanje utjecaja konkurencije stabala na brojnost podmlatka jele izvršena je analiza varijanse (ANOVA) i rezultati su prikazani na grafikonu 1. sa odgovarajućim LSD intervalima.



Grafikon 1. Zavisnost ukupnog broja podmlatka jele od vrijednosti Hegyi indeksa

Graph 1. The dependence of silver fir seedlings occurrence for different values of Hegyi index.

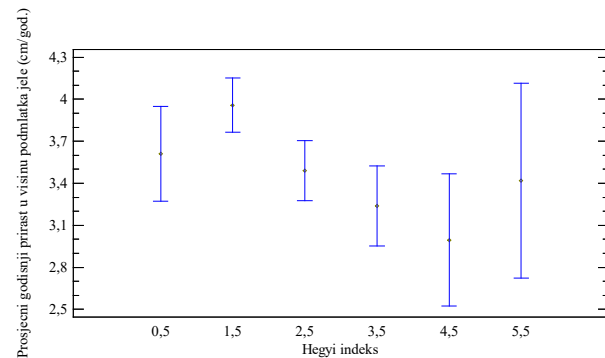
Analizom varijanse je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika između ukupne brojnosti podmlatka jele na plohama sa različitim Hegyi indeksom ( $P > 0,05$ ), tj. konkurencija stabala ne igra značajnu ulogu na pojavu jelovog podmlatka. Na osnovu grafikona vidimo da je najveća pojedinačna brojnost podmlatka zabilježena na plohi sa manjom vrijednošću Hegyievog indeksa, odnosno manjom konkurencijom. Povećanjem konkurencije maksimalna brojnost podmlatka sa pojedinačnih ploha opada. Na tim plohama je ujedno i varijabilnost u pogledu brojnosti prirodnog podmlatka najveća i sa povećanjem konkurencije ta varijabilnost u pogledu pojave podmlatka se smanjuje. Najmanji varijabilitet se javlja pri središnjoj vrijednosti Hegyievog indeksa od 3.5. Na tim plohama je prosječno zabilježeno najviše podmlatka jele, a nešto manje na plohi sa vrijednosti indeksa od 2.5. Sa povećanjem ili smanjenjem konkurencije od referentne (3.5) prosječna brojnost podmlatka opada.

## EFFECT OF COMPETITION BETWEEN TREES ON HEIGHT INCREMENT - Utjecaj konkurencije stabala na godišnji visinski prirast podmlatka jele

Utjecaj konkurencije na visinski prirast jele analiziran je za dvije uzrasne kategorije: (I) 50–130 cm, i (II) 0,1–5 cm. Za ispitivanje utjecaja izvršena je analiza varijanse i rezultati su prikazani na grafikonu 2.

Analizom varijanse utvrđeno je da postoje statistički značajne razlike u visinskom prirastu jele za uzrasnu kategoriju od 50 do 130 cm pri različitim vrijednostima Hegyievog indeksa ( $P = 0,02$ ). Na osnovu prethodnog grafikona, vidimo da je najveći visinski prirast zabilježen u vrijednosnom razredu Hegyi indeksa od 1.5. U spomenutom razredu visinski prirast ujedno je i prosječno najveći i najmanja je varijabilnost. Sa povećanjem konkurencije visinski prirast je sve manji. Najmanja srednja

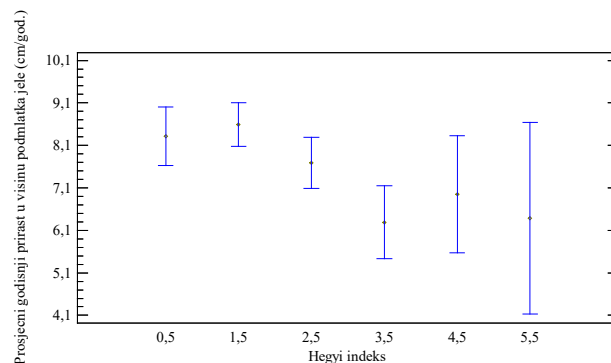
vrijednost je pri vrijednosti indeksa od 4.5. Najveća varijabilnost je u posljednjem vrijednosnom razredu od 5.5, gdje su zabilježene pojedinačne vrijednosti visinskog prirasta skoro jednake maksimalnim vrijednostima razreda od 1.5.



Grafikon 2. Zavisnost prosječnog godišnjeg prirasta u visinu podmlatka jele uzrasne kategorije od 50 do 130 cm visine od Hegyi indeksa.

Graph 2. The dependence of average yearly height increment of height class 50 to 130 cm for different Hegyi index values

Na narednom grafikonu predstavljena je zavisnost prosječnog godišnjeg prirasta u visinu podmlatka jele uzrasne kategorije od 0,1 do 5,0 cm prsnog prečnika od Hegyi indeksa.



Grafikon 3. Zavisnost prosječnog godišnjeg prirasta u visinu podmlatka jele uzrasne kategorije od 0,1 do 5,0 cm prsnog prečnika od Hegyi indeksa

Graph 3. The dependence of average yearly height increment of dbh class 0.1 to 5 cm for different Hegyi index values

Prema rezultatima analize varijanse (ANOVA), visinski prirast podmlatka jele, uzrasne kategorije od 0,1 do 5,0 cm prsnog prečnika, statistički značajno se razlikuju u zavisnosti od vrijednosti Hegyi indeksa ( $P = 0,025$ ) pri vjerovatnoći od 95%. Najveće vrijednosti visinskog prirasta podmlatka jele zabilježene su pri manjim vrijednostima Hegyievog indeksa, odnosno pri manjoj konkurenciji. Prosječno najveći visinski prirast jele zabilježen je pri vrijednosti indeksa od 1.5, a zatim pri 0.5, dok sa povećanjem

njem konkurencije visinski prirast podmlatka jele opada. Sa povećanjem konkurencije povećava se i varijabilnost u prirašćivanju u visinu, pri čemu je najveća pri najvećoj vrijednosti Hegyi indeksa. Visinski prirast u tom vrijednosnom razredu kreće se od 4 cm do 8.7 cm godišnje.

## DISCUSSION - *Diskusija*

U ovom radu analiziran je utjecaj konkurencije odraslih stabala izražen Hegyievim indeksom na ukupnu brojnost i visinski prirast za dvije uzrasne kategorije jelovog podmlatka.

Istraživanjem je utvrđeno da ne postoji statistički značajna veza između brojnosti prirodnog podmlatka jele i konkurencije između odraslih stabala. Do sličnih rezultata došli su i Paluch i dr. (2016). Oni su istraživanjem utvrdili da gustina sastojine u mješovitim sastojinama bukve, jele i smrče nema statistički značajan efekat na prirodno podmlađivanje jele, već da je podmlađivanje uslovljeno mikroklimatskim uvjetima. Prema istim autorima, povoljni mikroklimatski uvjeti karakterišu se većim udjelom smrče. Rezultati istraživanja Dobrowolska (1998) ukazuju da tri osnovne karakteristike sastojine: uslovi staništa, udio jele u sastojini i sastav vrsta drveća, igraju veoma važnu ulogu na podmlađivanje jele. Najlošiji uvjeti za podmlađivanje jele su u sastojinama sastavljenih od jasena, johe hrasta, trepetljike, lipe i sl., što je u vezi sa nepovoljnim režimom svjetla (Dobrowolska 2008, 1998). Brojna istraživanja su pokazala da je dostupnost svjetla jedan od ključnih faktora na razvoj i preživljavanje podmlatka (Hunziker i Brang 2005; Stancioiu i O'Hara 2006), dok na prostorni raspored podmlatka veću ulogu igraju edafski faktori, tačnije forma humusa (Paluch 2006). Na osnovu toga se najveća zabilježena brojnost podmlatka jele pri najmanjoj vrijednosti Hegyievog indeksa može objasniti povoljnijim uvjetima svjetla u odnosu na plohe pri većoj konkurenciji. Sa druge strane, velika varijabilnost u tom vrijednosnom razredu je u vezi sa drugim faktorima koji nisu uzeti u razmatranje u ovom radu, kao što je npr. udio jele i njen raspored na plohama, broj zrelih stabala jele i sl. Istraživanje Ivojević i dr. (2021) pokazalo je da je brojnost podmlatka jele veća što je udio jele veći u omjeru smjese. Najveća prosječna brojnost podmlatka zabilježena pri indeksu konkurencije od 3.5, može se objasniti činjenicom da je tu najmanja varijabilnost, što ukazuje na povoljniji omjer smjese jele, i da se radi uglavnom o zrelim stablima. Visoka brojnost podmlatka pri najvećoj vrijednosti Hegyievog indeksa u vezi je sa visokom tolerantnošću jele na zasjenu. Klopčič i dr. (2015) navode da jela podnosi zasjenu i pritisak sa strane i do nekoliko decenija, dok za klijanje i preživljavanje zahtijeva svega 1% od svjetlosti otvorenog prostora (Ammer 1996, Röhrig i dr. 2020).

Za obje uzrasne kategorije utvrđene su statistički značajne razlike između visinskog prirasta i Hegyi indeksa, odnosno od konkurencije između odraslih stabala koja se nalaze u neposrednom okruženju posmatranog podmlatka. Visinski prirast u pravilu opada sa povećanjem konkurencije odraslih stabala za obje uzrasne kategorije. Do sličnih opažanja došli su i drugi autori (Stancioiu i O'Hara 2006; Laiho i dr. 2014, Vickers i dr. 2014). Oni su utvrdili da je veza između konkurencije u nadstojnoj etaži, odnosno gustine i rasta juvenilnih stabala uglavnom negativno eksponencijalna, tj. visinski prirast opada sa porastom konkurencije. Pozitivna reakcija podmlatka na smanjenje konkurencije u nadstojnoj etaži najčešće se dovodi u vezu sa povećanjem priliva svjetla, ali isto tako može biti odraz i poboljšanje vodnog režima i režima hranjivih materija zbog brže mineralizacije organske materije i/ili smanjenja konkurencije korijenja sa odraslim stablima (Aussenac 2000; Bauhus i Bartsch 1995). Visoke pojedinačne vrijednosti visinskog prirasta kao i visoka varijabilnost pri najvećoj vrijednosti Hegyievog indeksa ukazuje na heterogene uvjete na tim plohama. Na takvim plohama ključni faktori za rast i razvoj podmlatka su neki faktori kao što su ranije spomenuti omjer smjese, raspored vrsta drveća na plohi, njihova brojnost, sklop krošanja a neizostavan je i pozitivan efekat konkurencije u podmlatku na visinski prirast usljed borbe za prostor.

## CONCLUSION - *Zaključak*

Na osnovu svega navedenog može se konstatovati da konkurencija između odraslih stabala nema značajan utjecaj na pojavu, odnosno brojnost podmlatka jele, ali ima značajan utjecaj na njegov prirast u visinu i uopće na njegov rast i razvoj u sastojini. U tu svrhu, prilikom provođenja uzgojnih zahvata, potrebno je voditi računa o prostornom rasporedu stabala i njihovoj gustoći kako bi se osigurao optimalan rast podmlatka. Brojnost prirodnog podmlatka jele zavisi od drugih faktora, u prvom redu mikroklimatskih uvjeta naročito uslova svjetla, a zatim i od omjera smjese (udjela jele), kao i prisustva drugih vrsta drveća, sklopa krošanja itd. Zbog toga bi prilikom provođenja zahvata bilo nužno težiti ka stvaranju povoljnijih uvjeta za podmlađivanje jele, što podrazumijeva u prvom redu optimalan priliv svjetla i mikroklimatske uvjete. Odnos između visinskog prirasta i konkurencije stabala se može opisati negativnom eksponencijalnom krivom, što znači da visinski prirast opada sa povećanjem konkurencije. To ukazuje na važnost pravilnog izbora stabala za sječu, odnosno važnost provođenja uzgojnih zahvata, kako bi se smanjila konkurencija između odraslih stabala i stimulirao optimalan rast podmlatka jele.

## REFERENCES - Literatura

- Ammer, C., (1996). Konkurrenz um Licht - Zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald. Forstl. Forschungsberichte München Nr. 158.
- Aussenac, G., (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.* 57, 287–301.
- Bauhus, J., Bartsch, N., (1995). Mechanisms for carbon and nutrient release and retention in beech forest gaps - I. Microclimate, water balance and seepage water chemistry. *Plant Soil* 168–169, 579–584.
- Bernadzki E. (2008). *Jodła pospolita – ekologia-zagrozenia-hodowla* [Silver fir –ecology-threatens-silviculture]. Warszawa: PWRiL; p. 210.
- Chen, H., (1997). Interspecific responses of planted seedlings to light availability in interior British Columbia: survival, growth, allometric patterns, and specific leaf area. *Can. J. For. Res.* 27, 1383–1393.
- Claveau, Y., Messier, C., Comeau, P.G., Coates, K.D., (2002). Growth and crown morphological responses of boreal conifer seedlings and saplings with contrasting shade tolerance to a gradient of light and height. *Can. J. For. Res.* 32, 458–468.
- Dobrowolska, D., (1998). Structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) natural regeneration in the 'Jata' reserve in Poland. *For. Ecol. Manag.* 110, 237–247.
- Dobrowolska, D., (2008). Growth and development of silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration and restoration of the species in the Karkonosze Mountains. *J. For. Sci.* 54, 398–408.
- Dobrowolska, D., Bolibok, L., (2019). Is climate the key factor limiting the natural regeneration of silver fir beyond the northeastern border of its distribution range? *For. Ecol. Manag.* 439, 105–121.
- Dobrowolska, D., Bončina, A., Klumpp, R., (2017). Ecology and silviculture of silver fir (*Abies alba* Mill.): a review. *J. For. Res.* 22, 326–335.
- Grassi, G., Minotta, G., Tonon, G., Bagnaresi, U., (2004). Dynamics of Norway spruce and silver fir natural regeneration in a mixed stand under uneven-aged management. *Can. J. For. Res.* 34, 141–149.
- Grunda, B., (1972). Zmlazovani jedle *Abies alba* Mill. a nektare biologicke vlastnosti pudy. *Lesn. Cas.*
- Hunziker, U., Brang, P., (2005). Microsite patterns of conifer seedling establishment and growth in a mixed stand in the southern Alps. *For. Ecol. Manag.* 210, 67–79.
- Ivojević, I., Višnjić, Č., Mujezinović, O., Zahirović, K., (2021). Utjecaj sklopa i omjera smjese sastojine na rast podmlatka jele u šumama bukve i jele (sa smrčom) na Bjelašnici, *Naše šume*, 62-63, 17-24.
- Jarni K, Robič D, Bončina A. (2004). Analysis of the influence of ungulates on the regeneration of Dinaric fir-beech forests in the research site Trnovec in the Kočevje forest management region [Analiza vpliva parkljaste divjadi na pomlajevanje dinarskega jelovo-bukovega gozda na raziskovalni ploskvi Trnovec v Kočevskem gozdnogospodarskem območju]. *Zbornika gozdarstva in lesarstva.* 74:141–164.
- Jaworski, A., (1973). Odnowienie naturalnej jodły (*Abies alba* Mill.) w wybranych zbiorowiskach leśnych Parków Narodowych: Tatrzańskiego, Babogórskiego i Pienińskiego. *Acta Agr Silv Ser Silv* 13, 21–87.
- Klopčič, M., Simončič, T., Bončina, A., (2015). Comparison of regeneration and recruitment of shade-tolerant and light-demanding tree species in mixed uneven-aged forests: experiences from the Dinaric region. *For. Int. J. For. Res.* 88, 552–563.
- Laiho, O., Pukkala, T., Lähde, E., (2014). Height increment of understorey Norway spruces under different tree canopies. *For. Ecosyst.* 1, 4.
- Lilles, E.B., Astrup, R., (2012). Multiple resource limitation and ontogeny combined: a growth rate comparison of three co-occurring conifers. *Can. J. For. Res.* 42, 99–110. <https://doi.org/10.1139/x11-163>
- Mauri, A., de Rigo, D., Caudullo, G., (2016). *Abies alba* in Europe: distribution, habitat, usage and threats.
- Mekić F. (1998). *Sjemenarstvo u šumarstvu, Svjetlost, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo*
- Pacala, S.W., Canham, C.D., Silander Jr., J.A., Kobe, R.K., (1994). Sapling growth as a function of resources in a north temperate forest. *Can. J. For. Res.* 24, 2172–2183.
- Paluch, J., (2006). Factors controlling the regeneration process in unevenly aged silver fir forests: inferences from the spatial pattern of trees. *J. For. Sci.* 52, 510–519.
- Paluch, J.G., Kołodziej, Z., Skrzyszewski, J., Bartkiewicz, L., Gruba, P., (2016). Regeneration patterns of the late-successional *Abies alba* Mill.: inhibition in monospecific stands and colonization in mixed stands. *Ann. For. Sci.* 73, 1015–1024.
- Robakowski, P., Wyka, T., Samardakiewicz, S., Kierzkowski, D., (2004). Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *For. Ecol. Manag.* 201, 211–227.
- Röhrig, E., Bartsch, N., Lüpke, B. von, (2020). *Waldbau auf ökologischer Grundlage.* UTB.

Stancioiu, P.T., O'Hara, K.L., 2006. Regeneration growth in different light environments of mixed species, multiaged, mountainous forests of Romania. *Eur. J. For. Res.* 125, 151–162.

Świerkosz, K., Reczyńska, K., Boublík, K., (2014). Variability of *Abies alba*-dominated forests in Central Europe: *Open Life Sci.* 9, 495–518.

Vickers, L.A., Larsen, D.R., Knapp, B.O., Kabrick, J.M., Dey, D.C., (2014). The impact of overstory density on sapling height growth in the Missouri Ozarks: implications for interspecific differentiation during canopy recruitment. *Can. J. For. Res.* 44, 1320–1330.

Wang, B., Bu, Y., Tao, G., Yan, C., Zhou, X., Li, W., Zhao, P., Yang, Y., Gou, R., (2020). Quantifying the Effect of Crown Vertical Position on Individual Tree Competition: Total Overlap Index and Its Application in Sustainable Forest Management. *Sustainability* 12, 7498

Weiskittel, A.R. (Ed.), (2011). *Forest growth and yield modeling*. Wiley, Hoboken, NJ.

Cavlovic, J., Dubravac, T., Roth, V., Dekanić, S., & Teslak, K. (2008). Succession processes and development of the stand structure of a 161-year-old Norway spruce plantation under regime without silvicultural treatment. *Periodicum Biologorum*, 110, 187–193.

Dubravac, T., Krejči, V., & Dekanić, S. (2007). The effects of stand structure on regeneration dynamics of fir and beech forests in Risnjak national park. *Glasnik Za Šumske Pokuse: Annales Experimentis Silvarum Culturae Provehendis*, 42, 57–74.

Ugarković, D., Stankić, I., Malnar, J., Popić, K., & Tikvić, I. (2018). Mikroklima i prirodno pomlađivanje šumskih progala nastalih odumiranjem stabala obične jele (*Abies alba* Mill.). *Šumarski List*, 142(5–6), 245–245. <https://doi.org/10.31298/sl.142.5-6.7>

## SUMMARY

Silver fir is one of the most important tree species not only in Bosnia and Herzegovina, but also in whole of Europe. For natural regeneration of fir the most important factors are site condition, share of fir in stand and tree species composition. The aim of this study was to determine if there are statistically important differences in the number of seedlings and height increment at different competition situations between adult trees. Study area was located at mount Bjelašnica. Data were collected on circular plots with a radius of 12.62m for trees with dbh above 5 cm, and radius 3m for regeneration layer. The competition is expressed using Hegyi competition index, where for the calculation a dominant tree from each quadrant was used. We analysed the total number of fir individuals in regeneration layer and height increment for categories 50–130 cm height and 0.1–5 cm dbh. The results showed that there are no statistically significant differences in the number of for seedlings at different values of the Hegyi index. Statistically significant differences were found in terms of height increment. Height increment decreased with increasing competition between trees.

Received: 15 May 2023; Accepted: 29 June 2023; Published: 31 July 2023

**Funding:** Financed by the The Forestry Directorate - Ministry of Economy of Sarajevo Canton; project "Podmlađivanje jele (*Abies alba* Mill.) u šumama bukve i jele sa smrčom na krečnjačkim supstratima na Igmanu i Bjelašnici u funkciji optimiranja gazdovanja ovim šumama".

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.



© 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).