

# Supstitucija kultura obične smreke (*Picea abies* /L./ Karst.) u Republici Hrvatskoj

---

**Tijardović, Martina**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:540948>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-05**



*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

Šumarski fakultet

Martina Tijardović

**SUPSTITUCIJA KULTURA OBIČNE  
SMREKE (*Picea abies* /L./ Karst.) U  
HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2015.



University of Zagreb

Faculty of Forestry

Martina Tijardović

**CONVERSION OF NORWAY SPRUCE  
CULTURES (*Picea abies* /L./ Karst.) IN  
CROATIA**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2015.



Sveučilište u Zagrebu

Šumarski fakultet

Martina Tijardović

**SUPSTITUCIJA KULTURA OBIČNE  
SMREKE (*Picea abies* /L./ Karst.) U  
HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Milan Oršanić

Zagreb, 2015.



University of Zagreb

Faculty of Forestry

Martina Tijardović

**CONVERSION OF NORWAY SPRUCE  
CULTURES (*Picea abies* /L./ Karst.) IN  
CROATIA**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: prof. dr. sc. Milan Oršanić

Zagreb, 2015.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

|                     |   |
|---------------------|---|
| TI (naslov)         | Supstitucija kultura obične smreke ( <i>Picea abies</i> /L./ Karst.) u Republici Hrvatskoj  |
| AU (autor)          | Martina Tijardović  |
| AD (adresa)         | Cvjetno naselje 41, 10 450 Jastrebarsko, Hrvatska<br>martinat@sumins.hr   |
| SO (izvor)          | Šumarska knjižnica – Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu<br>Svetošimunska 25, 10000 Zagreb  |
| PY (godina objave)  | 2015  |
| LA (izvorni jezik)  | hrvatski  |
| LS (jezik sažetka)  | engleski  |
| DE (ključne riječi) | osnivanje kultura, šumsko - uzgojne strategije, kemizam i količina šumske prostirke, uspjeh metoda, priprema staništa, sjetva, sadnja, smjernice gospodarenja   |
| GE (zemlja objave)  | Republika Hrvatska  |
| PT (vrsta objave)   | doktorska disertacija   |
| VO (obujam)         | I - XXVI + 276 str. + 122 tablica + 115 slika + 291 literat.  |
| AB (sažetak)        | Kulture obične smreke u Republici Hrvatskoj zauzimaju 8.364 ha ili 15% ukupne površine pod šumskim kulturama. U njima su zapažena znatna sušenja, a ne polučuju niti očekivanu ekonomsku dobit. To čini gospodarenje ovim kulturama složenim pitanjem koje trenutno zauzima prvo mjesto u gospodarenju kulturama u Republici Hrvatskoj. Problematika supstitucije šumskih kultura kod nas je slabo istražena, a kako je većina ovih kultura gospodarske namjene istraživanje ima utjecaj i na ekonomsku sastavnicu gospodarenja. Osnovna hipoteza ovoga istraživanja je da se šumske kulture obične smreke u Republici Hrvatskoj pri kraju ophodnje mogu uspješno zamijeniti klimatogenim vrstama drveća. Osnovni cilj ovoga istraživanja je ispitati uspjeh osnovnih metoda supstitucije uz smanjenje ekonomskih, socijalnih i ekoloških rizika tijekom procesa pretvorbe. Pokusne plohe su osnovane u središnjem dijelu Republike Hrvatske (Uprave šuma podružnice Zagreb i Karlovac). Postupak supstitucije je složen i skup zahvat sa šumskom kulturom. Prvi korak koji prethodi supstituciji je procjena rizika samoga zahvata. Analiza rasta i razvoja biljaka u različitim supstitucijskim metodama (pod zastorom, na progalama, jednostavna supstitucija), koje obuhvaćaju i sjetvu i sadnju, ukazuje da jednostavna supstitucija osigurava najslabije rezultate. Stoga se ne preporučuje. Najbolje rezultate supstitucije smrekovih kultura dobili smo korištenjem metode pod zastorom krošanja. Jedan od presudnih čimbenika za |

---

uspjeh supstitucije smrekovih kultura je pravovremena i dugotrajna njega (prorede) tijekom cijele ophodnje te potrebna njega ponika i pomlatka spontano pridošlih ili unešenih autohtonih vrsta. Njega šumske kulture ima pozitivan utjecaj na opću stabilnost kulture kao i na razgradnju organske tvari. Sjetva sjemena obične bukve pod zastorom krošanja pokazala se kao jeftin i učinkovit način supstitucije. S obzirom na vertikalnu prirodnu rasprostranjenost obične bukve ovu metodu preporučujemo koristiti što češće. Nakupljanje organske tvari (iglica smreke) i zakiseljavanje tla do dubine od 5 cm, nije pokazalo negativan utjecaj ako koristimo metodu jednostavne supstitucije. Prilikom korištenja metode pod zastorom krošanja i sjetve sjemena obične jele, zakiseljavanje površinskog dijela tla predstavlja problem i treba se izbjegavati. Vrlo veliki problem kod supstitucije predstavlja korov koji leži u površinskom dijelu tla i čeka povoljne uvjete za klijanje (*Rubus* sp.). Prema tome, reguliranje pritjecanja svjetla na tlo je od izuzetne važnosti te će stoga sam izbor metode supstitucije u velikoj mjeri o tome ovisiti. Osnivanje kultura obične smreke u pojasu hrasta kitnjaka trebalo bi ubuduće izbjegavati jer ekološki uvjeti, a i sve izraženije klimatske promjene, sigurno će ograničavati uspjeh podizanja novih kultura kao i kasniju supstituciju. Podizanje smrekovih kultura u pojasu bukve i u pojasu bukve i jele i dalje ima opravdanja. Sadašnje ekološke i klimatske prilike pogoduju osnivanju novih šumskih kultura obične smreke kao jedne vrijedne i vrlo produktivne vrste.

---

### BASIC DOCUMENTATION CARD

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| TI (Title)                  | Conversion of Norway spruce ( <i>Picea abies</i> /L./ Karst.) cultures in Croatia   |
| OT (Original Title)         | Supstitucija kultura obične smreke ( <i>Picea abies</i> /L./ Karst.) u Republici Hrvatskoj  |
| AU (Author)                 | Martina Tijardović  |
| AD (Adress of Author)       | Cvjetno naselje 41, 10 450 Jastrebarsko, Croatia<br>martinat@sumins.hr  |
| SO (Source)                 | Forestry Library of Faculty of Forestry, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb  |
| PY (Publication Year)       | 2015  |
| LA (Language of Text)       | croatian  |
| LS (Language of Summary)    | english   |
| DE (Descriptors, key words) | culture establishment, silvicultural strategies, amount and chemical properties of forest floor, success of individual methods, site preparation techniques, seeding, planting, silvicultural guidelines  |
| GE (Geo. Headings)          | Republic of Croatia   |
| PT (Publication Type)       | Doctoral Thesis   |
| VO (Volume)                 | I - XXVI + 276 pages + 122 tables + 115 pictures +291 literature citations  |
| AB (Abstract)               | Norway spruce has got great importance in afforestation activities in the Republic of Croatia. Immense decline is observed in spruce cultures which makes management of this kind of cultures a complex issue with high priority in management in Croatia. Since there is little scientific knowledge on this issue, there was a need to investigate Norway spruce selection for further afforestation activities and optimal substitution methods needed at the end of rotation period. Basic hypothesis of the research is that Norway spruce forest cultures in the Republic of Croatia, at the end of rotation period, could successfully be converted with climax tree species. Basic goal of this research is to test the success of basic conversion (“substitution”) methods together with decrease of economic, social and ecological risks during process of conversion. Trial plots were established in central part of the Republic of Croatia, on the area of Forest Administration offices Zagreb and Karlovac. Conversion is expensive and complex silvicultural |



---

measure. The first step that precedes conversion should be risk assessment of site potential. Analysis of plant survival and success within different substitution methods (under shelterwood, in canopy gaps, clearcut), with both seeding and planting, showed that plain substitution provides the lowest results. Therefore, this method is not recommended for conversion of Norway spruce cultures in the Republic of Croatia. The best results of Norway spruce cultures conversion provides the use of shelterwood method. Tending of forest cultures during rotation period is critical and has positive influence on their general stability as well as on organic matter turnover. Seeding of European beech under canopy appeared to be cheap and efficient conversion technique, so this method is strongly recommended for further and frequent use. Organic matter (needle litter) accumulation and soil acidification up to 5 cm in depth did not negatively affect seedlings growth when plain conversion was applied. When shelterwood method and seeding of European silver fir was applied, acidification of upper organic layer presented obstacle and therefore this method should be avoided. Establishment of Norway spruce forest cultures in vegetation belt of Sessile oak should be avoided in the future because of adverse ecological conditions and increasingly pronounced climate changes, which will certainly constrain the success of establishment of new forest cultures as well as subsequent conversion (“substitution”). Establishment of Norway spruce cultures in European beech and European silver fir vegetation belt is still justified. Current ecological and climatic circumstances favour establishment of new Norway spruce forest cultures as a valuable and highly productive tree species.

---

## PODACI O MENTORU

Prof. dr. sc. Milan Oršanić rođen je 01. 09. 1963. godine u Otočcu, Republika Hrvatska. Osnovno i srednjoškolsko obrazovanje završava u Otočcu. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisuje 1983. godine i završava 1988. godine. Godine 1994. obranio je magistarski rad pod naslovom „Uspjevanje šumskih kultura obične smreke (*Picea abies*), crnog bora (*Pinus nigra*) i europskog ariša (*Larix decidua*) na Zagrebačkoj gori“. Godine 2001. obranio je doktorsku disertaciju pod naslovom „Struktura i dinamika šumskih sastojina obične smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) na sjevernom Velebitu“. Na visokoj tehničkoj školi u Zürichu (ETH) 1996. godine obavlja specijalizaciju iz visokoplaninskih šumskih ekosustava. Na Tehničkom univerzitetu u Zvolenu (Slovačka) višekratno se specijalizira na prirodno bliskim šumskim ekosustavima kao i na prašumama. Poslije završetka fakulteta zapošljava se u Upravi šuma Senj. Tamo provodi dvije godine (1988. – 1990.) gdje radi kao samostalni referent na poslovima pridobivanja drva. Od svibnja 1990. godine pa do danas radi na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Biran je za prodekana Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (2006. – 2008.) te dekana Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u dva mandata (2010. – 2014.). Predstojnik je zavoda za nastavno - pokusne objekte od 2003. godine. Od samog početka rada na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu uključen je u nastavu, najprije kao asistent na predmetima Uzgajanje šuma I i II, gdje je izvodio vježbe i terensku nastavu te pružao pomoć pri izradi diplomskih radova. Godine 2003. izabran je u znanstveno - nastavno zvanje docenta, pa mu je u akad. god. 2003./2004. i 2004./2005. povjerena nastava iz sljedećih predmeta dodiplomskog studija: *Osnivanje šuma* (obvezni predmet, V. i VI. semestar, 2 + 2), *Uzgajanje šuma posebne namjene* (izborni predmet, VII. i VIII. semestar, 1 + 1) i *Osnove šumarstva* (izborni predmet, V. semestar, 1 + 3). Od uvođenja novih nastavnih predmeta prema bolonjskoj reformi akad. god. 2005./2006., nositelj je i nastavnik 7 kolegija na preddiplomskim i diplomskim studijima, 3 kolegija na doktorskom studiju te 6 kolegija na poslijediplomskim specijalističkim studijima. Voditelj (mentor) je 3 doktorska rada, 10 magistarskih radova, dva specijalistička rada te više desetaka diplomskih i završnih radova. Od akad. god. 2006./2007. voditelj je poslijediplomskog specijalističkog studija Uzgajanje i osnivanje šuma na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Znanstvena djelatnost kontinuirano se veže za šire područje Uzgajanja šuma i to područje visokoplaninskih šumskih ekosustava, njihove prirodne obnove, sukcesije i dinamike, prebornog gospodarenja i dr. Veliki dio znanstvenog istraživanja odnosio se na šumsko

sjemenarstvo i šumsko rasadničarstvo. Do sada je samostalno ili u koautorstvu objavio preko 80 znanstvenih i stručnih radova. Koautor je u 8 znanstvenih knjiga. Tijekom boravka na Šumarskom fakultetu Mendelova poljoprivredno - šumarskog Sveučilišta u Brnu, Republika Češka, u akad. godini 2006./2007., održao je predavanja na temu Osnivanje šuma i rasadnička proizvodnja u Hrvatskoj studentima preddiplomskog, diplomskog i poslijediplomskog studija. Primio je Veliku medalju Mendelovog univerziteta u Brnu (Češka) za međunarodnu suradnju (2014.) te posebno priznanje Sveučilišta u Zagrebu za aktivan rad u sveučilišnim tijelima (2014.).

Voditelj je više nacionalnih znanstvenih projekata, a u više njih djeluje i kao suradnik. Član je uredništva znanstvenog časopisa Glasnik za šumske pokuse (1995. – ), uređivačkog odbora znanstveno - stručnog časopisa Šumarski list (2006. – ) te uredničkog vijeća znanstvenog časopisa Forest engineering (2005. -). Član je Hrvatskog šumarskog društva, Istočnoalpskog - dinarskog društva za proučavanje vegetacije i Hrvatskog ekološkog društva. Član je i odbora za proračun Sveučilišta u Zagrebu (2014. - ) te sveučilišnog savjeta (2014. -). Izvanredni je član Akademije šumarskih znanosti, a član je i većeg broja povjerenstava vezanih za područje uzgajanja šuma. Bio je član nadzornog odbora poduzeća „Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb (2004. – 2006.), senata Sveučilišta u Zagrebu (2010. – 2014.), rektorskog kolegija Sveučilišta u Zagrebu (2012. – 2014.), sveučilišnog odbora za preustroj sveučilišta (2013. – 2014.) te predsjednik sveučilišnog povjerenstva za izradu pravilnika za Vlastita sredstva (2013. – 2014.).

## ZAHVALA

Iskrenu zahvalu upućujem svom mentoru prof. dr. sc. Milanu Oršaniću na pomoći prilikom odabira teme te vrijednim savjetima tijekom izrade rada. Dr. sc. Sanji Perić zahvaljujem svim srcem na cjelokupnoj podršci kako u izradi disertacije tako i u svemu ostalom. Tijekom izrade disertacije ona je nesebično pomagala i pokazala duboko razumijevanje i strpljenje, stoga joj upućujem svoju najdublju zahvalnost.

Srdačnu zahvalu upućujem kolegama iz „Hrvatskih šuma“, d. o. o. Zagreb, osobito djelatnicima šumarija Ozalj i Jastrebarsko te upraviteljima Leonu Milinkoviću i Mili Oreškoviću za neizmjernu pomoć prilikom osnivanja pokusa te njega i izmjere.

Srdačno se zahvaljujem svima koji su mi pomogli u izradi disertacije, svim kolegama i prijateljima, koji su sudjelovali u osnivanju pokusa i terenskim izmjerama te laboratorijskim analizama. Osobitu zahvalu upućujem kolegama iz Hrvatskog šumarskog instituta. Dr. sc. Jasnici Medak i dr. sc. Ivanu Pilašu zahvaljujem za pomoć kod fitocenoloških i pedoloških segmenata ovoga rada. Duboku zahvalnost dugujem prof. dr. sc. Ani-Mariji Jazbec za pomoć pri statističkoj obradi i interpretaciji dobivenih rezultata, a doc. dr. sc. Damiru Drvodeliću na podršci i pomoći osobito u posljednjoj fazi izrade disertacije. Ravnateljici dr. sc. Dijani Vuletić zahvaljujem na ukupnoj podršci i razumijevanju.

Najdublju zahvalu upućujem svojim roditeljima i suprugu na velikoj podršci, osobito majci koja mi je nesebično pomagala i pokazala najviše razumijevanja u teškim trenucima. Ovaj rad posvećujem svojoj djeci, Dori i Roku. Dori zahvaljujem na svom vremenu provedenom sa mnom na terenu i neiscrpnj radoznalosti koja je i mene tjerala sve dalje i dalje tijekom istraživanja. Svima od srca hvala!

U Zagrebu, 17. lipnja 2015.

Martina Tijardović

## SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA .....   | I         |
| BASIC DOCUMENTATION CARD .....   | III       |
| PODACI O MENTORU .....   | VI        |
| ZAHVALA .....  | VII       |
| POPIS TABLICA .....  | XV        |
| POPIS SLIKA .....  | XXI       |
| <b>1. UVODNE NAPOMENE I PREDMET ISTRAŽIVANJA .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE O ISTRAŽIVANOM PROBLEMU .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>2.1. Šumskouzgojne strategije i supstitucijske metode .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.2. Doprinos znanosti .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>3. ZADATAK I CILJ ISTRAŽIVANJA .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>4. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>4.1. Općenito .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>4.2. Pokusne plohe na lokalitetu "Gornja Kupčina" .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>4.3. Pokusne plohe na lokalitetu "Pregrada - Klanjec" .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>4.3. Pokusne plohe na lokalitetu "Doljani" .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>4.4. Pokusne plohe na lokalitetu "Bistranska Gora" .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>5. MATERIJALI I METODE .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>5.1. Odabrane supstitucijske metode .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>5.2. Procjena parametara stabilnosti kulture kao preduvjet za pravilan odabir metoda supstitucije .....</b> | <b>34</b> |
| <b>5.3. Uzorkovanje i analiza nerazgrađene organske tvari u šumskoj prostirci.....</b>                         | <b>35</b> |
| <b>5.4. Uzorkovanje i analiza tla .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>5.5. Priprema staništa kao preduvjet za osnivanje pokusnih ploha .....</b>                                  | <b>37</b> |
| <b>5.6. Odabir vrsta drveća za osnivanje pokusnih ploha .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>5.7. Nabava i sadnja šumskih sadnica .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>5.8. Ispitivanje kvalitete, predstjetvena priprema šumskoga sjemena i sjetva .....</b>                      | <b>42</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>5.9. Održavanje pokusnih ploha te zaštita i njega ponika i pomlatka</b>  | 45 |
| <b>5.10. Izmjere na pokusnim plohama</b>  | 46 |
| 5.10.1. Utvrđivanje pojave i mortaliteta biljaka iz sjemena   | 46 |
| 5.10.2. Izmjera visine, promjera na bazi korijena te utvrđivanje visinskoga prirasta biljaka iz sjemena   | 47 |
| 5.10.3. Utvrđivanje preživljenja posađenih sadnica  | 48 |
| 5.10.4. Izmjera visine, promjera na bazi stabljike te određivanje visinskog i debljinskog prirasta posađenih sadnica  | 48 |
| 5.10.5. Utvrđivanje kvalitete mladika   | 50 |
| 5.10.6. Utvrđivanje pokrovnosti korovske vegetacije i osunčanosti krošanja  | 50 |
| 5.10.7. Snimanje svjetlosnih uvjeta   | 50 |
| <b>5.11. Utvrđivanje pojave drvenastih vrsta u sukcesiji prirodne vegetacije</b>  | 51 |
| <b>5.12. Statistička obrada podataka</b>  | 52 |
| <b>6. REZULTATI</b>   | 53 |
| <b>6.1. Strukturni parametri ispitivanih kultura obične smreke – pojas hrasta kitnjaka i pojas obične bukve i obične jele (lokaliteti „Bistranska gora“ i „Gornja Kupčina“)</b> | 54 |
| <b>6.2. Nerazgrađena organska tvar u šumskoj prostirci kultura obične smreke</b>  | 56 |
| 6.2.1. Zaliha organske tvari u šumskoj prostirci  | 56 |
| 6.2.2. Kemijska analiza nerazgrađene organske tvari u šumskoj prostirci   | 63 |
| <b>6.3. Utvrđivanje tipova tala te rezultati laboratorijskog ispitivanja tla u zoni zakorjenjivanja šumskih sadnica</b>   | 66 |
| 6.3.1. Reakcija tla – pH  | 70 |
| 6.3.2. Organska tvar (humus)  | 72 |
| 6.3.3. Ukupni dušik   | 74 |
| 6.3.4. Odnos C/N  | 75 |
| 6.3.5. Mehanički sastav tala na istraživanim lokalitetima   | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>6.4. Svjetlosni uvjeti tijekom primjene supstitucijske metode pod zastorom</b>   |     |
| <b>krošanja stabala kulture (lokalitet „Bistranska gora“)</b> .....   | 77  |
| <b>6.5. Fitocenološko snimanje</b> .....  | 81  |
| <b>6.6. Spontana pojava šumskih vrsta drveća i grmlja</b> .....   | 85  |
| 6.6.1. Kompozicija vrsta u prirodnoj sukcesiji nakon sušenja obične smreke<br>(čisti sijek na maloj površini i sukcesija na rubovima kulture) –<br>lokalitet „Gornja Kupčina“ ..... | 85  |
| 6.6.2. Dinamika prirodne sukcesije nakon sušenja monokulture obične smreke<br>(čisti sijek na maloj površini) –<br>kronosekvenca na lokalitetu „Doljani“ .....                      | 87  |
| 6.6.3. Kompozicija vrsta u prirodnoj sukcesiji pod zastorom kulture obične smreke<br>i nakon čistog sijeka na maloj površini –<br>lokalitet „Bistranska Gora“ .....                 | 96  |
| <b>6.7. Supstitucija monokultura obične smreke u pojasu klimatogenih šumskih<br/>zajednica hrasta kitnjaka (lokaliteti „Pregrada – Klanjec“ i „Gornja<br/>Kupčina“)</b> .....       | 98  |
| 6.7.1. „Jednostavna“ supstitucija kulture obične smreke sjetvom sjemena<br>(vegetacijski pojas hrasta kitnjaka) .....   | 98  |
| 6.7.1.1. <i>Broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka iz sjemena u 1. i 2. godini nakon<br/>sjetve (lokalitet „Gornja Kupčina“)</i> .....  | 98  |
| 6.7.2. Usporedba uspjeha različitih šumskouzgojnih metoda supstitucija kulture<br>obične smreke sjetvom sjemena na lokalitetu „Gornja Kupčina“ .....                                | 100 |
| 6.7.3. Uspjeh supstitucije „pod zastorom“ sjetvom omaške (lokalitet „Pregrada –<br>Klanjec“) .....  | 102 |
| 6.7.3.1. <i>Visina pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Pregrada –<br/>Klanjec“</i> .....  | 102 |
| 6.7.3.2. <i>Visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Pregrada –<br/>Klanjec“</i> .....  | 103 |
| 6.7.3.3. <i>Promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu<br/>„Pregrada – Klanjec“</i> .....   | 104 |
| 6.7.3.4. <i>Promjer na prsnoj visini pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu<br/>„Pregrada – Klanjec“</i> .....  | 104 |
| 6.7.4. Jednostavna supstitucija kulture obične smreke sadnjom sadnica u<br>vegetacijskom pojasu hrasta kitnjaka .....   | 104 |

|  |            |
|--|------------|
| 6.7.4.1. Preživljenje pomlatka hrasta kitnjaka po pojedinoj metodi pripreme staništa (lokalitet „Gornja Kupčina“)          | 104        |
| 6.7.4.2. Pojava korovske vegetacije i osunčanost krošanja pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“          | 105        |
| 6.7.4.3. Visina pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“  | 110        |
| 6.7.4.4. Visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“  | 112        |
| 6.7.4.5. Promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“                                 | 114        |
| 6.7.4.6. Debljinski prirast na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“                      | 116        |
| 6.7.4.7. Visina pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“  | 119        |
| 6.7.4.8. Kvaliteta mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“  | 120        |
| 6.7.4.9. Visinski prirast mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“   | 121        |
| 6.7.4.10. Prsni promjer mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“   | 122        |
| 6.7.4.11. Prirast prsnoga promjera mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“                                  | 123        |
| 6.7.4.12. Promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“                                | 124        |
| 6.7.4.13. Debljinski prirast na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“                     | 125        |
| <b>6.8. „Jednostavna“ supstitucija u pojasu klimatogenih šumskih zajednica obične bukve (lokalitet „Doljani“)</b>          | <b>127</b> |
| 6.8.1. Jednostavna supstitucija kulture obične smreke sjetvom sjemena u pojasu klimatogenih šumskih zajednica obične bukve | 127        |
| 6.8.1.1. Broj ponika i pomlatka iz sjemena hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“   | 127        |
| 6.8.1.2. Broj ponika i pomlatka iz sjemena obične bukve na lokalitetu „Doljani“  | 130        |



|  |     |
|--|-----|
| 6.8.1.3. Usporedba sjetve hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“                               | 131 |
| 6.8.2. Supstitucija kulture obične smreke sadnjom sadnica u vegetacijskom pojasu obične bukve                  | 133 |
| 6.8.2.1. Preživljenje posađenih sadnica hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“                                | 133 |
| 6.8.2.2. Visina pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“   | 134 |
| 6.8.2.3. Visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“                                     | 136 |
| 6.8.2.4. Promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“                            | 139 |
| 6.8.2.5. Prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“                   | 140 |
| 6.8.2.6. Preživljenje posađenih sadnica obične bukve na lokalitetu „Doljani“                                   | 142 |
| 6.8.2.7. Visina pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani“  | 143 |
| 6.8.2.8. Visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani“  | 145 |
| 6.8.2.9. Promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani“                               | 147 |
| 6.8.2.10. Prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani“                     | 150 |
| 6.8.2.11. Usporedba visina hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“                              | 152 |
| 6.8.2.12. Usporedba visinskoga prirasta hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“                 | 154 |
| 6.8.2.13. Usporedba promjera na bazi stabljike hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“          | 156 |
| 6.8.2.14. Usporedba prirasta promjera na bazi stabljike hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“ | 158 |
| 6.8.2.15. Visina i visinski prirast mladika gorskog javora na lokalitetu „Doljani“                             | 160 |
| 6.8.2.16. Kvaliteta mladika gorskog javora na lokalitetu „Doljani“   | 162 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| 6.8.2.17.   | <i>Promjer na bazi stabljike i debljinski prirast gorskog javora na lokalitetu „Doljani“</i>  | 164 |
| <b>6.9.</b> | <b>Supstitucija kulture obične smreke u vegetacijskom pojasu klimatogenih šumskih zajednica bukve i jele (lokalitet „Bistranska gora“)</b>    | 167 |
| 6.9.1.      | Supstitucija „pod zastorom“ krošanja stabala obične smreke sjetvom sjemena u vegetacijskom pojasu klimatogenih šumskih zajednica bukve i jele | 167 |
| 6.9.1.1.    | <i>Broj ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“)</i>   | 167 |
| 6.9.1.2.    | <i>Visina ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“)</i>   | 169 |
| 6.9.1.3.    | <i>Visinski prirast pomlatka iz sjemena obične bukve (lokalitet „Bistranska gora“)</i>  | 171 |
| 6.9.1.4.    | <i>Promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“)</i>   | 173 |
| 6.9.1.5.    | <i>Broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“)</i>  | 174 |
| 6.9.2.      | Supstitucija kulture obične smreke sadnjom sadnica (supstitucija pod zastorom, na progalama i jednostavna supstitucija)                       | 177 |
| 6.9.2.1.    | <i>Preživljenje posađenih sadnica obične bukve (sve metode) na lokalitetu „Bistranska gora“</i>   | 177 |
| 6.9.2.2.    | <i>Visina pomlatka obične bukve (sve metode) na lokalitetu „Bistranska gora“</i>  | 177 |
| 6.9.2.3.    | <i>Promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve (sve metode) na lokalitetu „Bistranska gora“</i>   | 181 |
| 6.9.2.4.    | <i>Supstitucija pod zastorom krošanja kulture obične smreke sadnjom sadnica obične jele (lokalitet „Bistranska gora“)</i>                     | 184 |
| 6.9.3.      | Usporedba sjetve i sadnje na lokalitetu „Bistranska gora“ (metoda pod zastorom krošanja i jednostavna supstitucija)                           | 184 |
| 6.9.3.1.    | <i>Usporedba visine ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica (lokalitet „Bistranska gora“)</i>                                     | 184 |
| 6.9.3.2.    | <i>Usporedba visinskoga prirasta ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica (lokalitet „Bistranska gora“)</i>                        | 188 |
| <b>7.</b>   | <b>RASPRAVA</b>   | 192 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>7.1. Procjena pokazatelja rizika šumske kulture i staništa tijekom supstitucije</b>                                     | 195 |
| <b>7.2. Odabir ciljanih vrsta za supstituciju kultura obične smreke</b>  | 200 |
| <b>7.3. Utjecaj supstitucijskih metoda na zalihi šumske prostirke</b>  | 204 |
| 7.3.1. Zaliha nerazgrađene organske tvari prema pojedinim supstitucijskim metodama   | 204 |
| 7.3.2. Kemijska analiza nerazgrađene organske tvari prema pojedinim supstitucijskim metodama                               | 209 |
| 7.3.3. Svojstva tla u zoni zakorjenjivanja šumskih sadnica   | 209 |
| <b>7.4. Svjetlosni uvjeti tijekom supstitucije</b>   | 211 |
| <b>7.5. Usporedba supstitucijskih metoda (supstitucija pod zastorom, na progalama, jednostavna susptitucija)</b>           | 213 |
| 7.5.1. Supstitucija sjetvom sjemena na istraživanim lokalitetima   | 220 |
| 7.5.2. Supstitucija sadnjom različitih tipova i starosti šumskoga reprodukcijuskog materijala na istraživanim lokalitetima | 226 |
| <b>8. ZAKLJUČCI</b>  | 233 |
| <b>9. LITERATURA</b>   | 236 |
| <b>10. SUMMARY</b>   | 265 |
| <b>ŽIVOTOPIS</b>   | 273 |
| <b>CURRICULUM VITAE</b>  | 274 |
| <b>POPIS OBJAVLJENIH DJELA</b>   | 275 |

## POPIS TABLICA

---

**Tablica 4.1.** Popis metoda, tretiranja i analiziranih parametara na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 4.2.** Popis metoda, tretiranja i analiziranih parametara na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 4.3.** Popis metoda, tretiranja i analiziranih parametara na lokalitetu „Bistranska gora“

**Tablica 5.1.** Popis odabranih supstitucijskih metoda kultura obične smreke

**Tablica 5.2.** Popis lokaliteta i odabranih vrsta na kojima su osnovane pokusne plohe supstitucije kultura obične smreke

**Tablica 5.3.** Prikaz korištenog sadnog materijala prema starostima, tipu uzgoja i vrsti korištenog u istraživanju

**Tablica 5.4.** Prikaz vrsta i količina sadnica po lokalitetima primijenjenih u istraživanju

**Tablica 5.5.** Količine sjemena prema istraživanim šumskim vrsta primijenjene u istraživanju na svim lokalitetima

**Tablica 6.1.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci na lokalitetu „Gornja Kupčina“ po pojedinim supstitucijskim metodama

**Tablica 6.2.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci prema vrsti biljnih ostataka i pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.3.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.4.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci prema vrsti biljnih ostataka i pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.5.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

**Tablica 6.6.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci prema vrsti biljnih ostataka i pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

**Tablica 6.7.** Deskriptivna statistika dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.8.** Deskriptivna statistika dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.9.** Deskriptivna statistika dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

**Tablica 6.10** Utvrđeni bioklimati na istraživanim lokalitetima

**Tablica 6.11.** Osnovni statistički pokazatelji za pH vrijednost, humus i ukupni dušik tipova tala u Republici Hrvatskoj koji odgovaraju tipovima na istraživanim lokalitetima (Izvor: Martinović 2003)

**Tablica 6.12.** Percentili iskazanih svojstava tipova tala utvrđenih na istraživanim lokalitetima

**Tablica 6.13.** Osnovna kemijska obilježja analiziranih uzoraka prema lokalitetima

**Tablica 6.14.** Mehanički sastav uzoraka tala na pokusnim plohama prikupljenih neposredno prije sadnje i sjetve (zima 2009./2010.)

**Tablica 6.15.** Deskriptivna statistika apsolutnih vrijednosti prosječnog svjetla 2011. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.16.** Deskriptivna statistika relativnih vrijednosti prosječnog svjetla 2011. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.17.** Deskriptivna statistika apsolutnih vrijednosti prosječnog svjetla 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.18.** Deskriptivna statistika relativnih vrijednosti prosječnog svjetla 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.19.** Osnovna obilježja pokusnih ploha na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.20.** Osnovna obilježja pokusnih ploha na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.21.** Osnovna obilježja pokusnih ploha na lokalitetu „Bistranska gora“

**Tablica 6.22.** Deskriptivna statistika broja ponika i pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“ za različita tretiranja tijekom 2011. i 2012. godine na pokusnim plohama na kojima je primjenjena jednostavna supstitucija

**Tablica 6.23.** Rezultati analize varijance za broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka prema različitim metodama pripreme staništa na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.24.** Deskriptivna statistika broja ponika i pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“ za metodu pod zastorom krošanja stabala kulture obične smreke i metodu jednostavne supstitucije (sadnja „pod motiku“) tijekom 2011. i 2012. godine

**Tablica 6.25.** Rezultati analize varijance za usporedbu broja ponika i pomlatka hrasta kitnjaka iz sjemena prema različitim metodama supstitucije (pod zastorom i jednostavna supstitucija)

**Tablica 6.26.** Deskriptivna statistika visine pomlatka i mladika hrasta kitnjaka porijeklom iz sjemena na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“, za metodu pod zastorom (sjetva „omaške“)

**Tablica 6.27.** Deskriptivna statistika pokrovnosti korova i osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“ u prvom vegetacijskom razdoblju nakon presadnje na humke

**Tablica 6.28.** Deskriptivna statistika pokrovnosti korova i osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“ u prvom vegetacijskom razdoblju nakon presadnje na kontrolnim pokusnim plohama

**Tablica 6.29.** Deskriptivna statistika pokrovnosti korova i osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“ u prvome vegetacijskom razdoblju nakon presadnje na pokusnim plohama s usitnjenim površinskim slojem

**Tablica 6.30.** Rezultati jednostruke analize varijance za pokrovnost korovske vegetacije na svim pokusnim plohama sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (jednostavna supstitucija)

**Tablica 6.31.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za pokrovnost korovske vegetacije na pokusnim plohama sadnje hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.32.** Rezultati jednostruke analize varijance za površinu osunčanoga dijela krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na svim pokusnim plohama sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (metoda jednostavna supstitucija)

**Tablica 6.33.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za površinu osunčanoga dijela krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na svim pokusnim plohama sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.34.** Deskriptivna statistika visina hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“ za tri različita tretiranja (kontrola, „usitnjavanje“ i humci) u razdoblju od 2010. do 2013. godine

**Tablica 6.35.** Rezultati analize varijance za visine hrasta kitnjaka prema različitim metodama pripreme staništa

**Tablica 6.36.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.37.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2011. do 2012. godine

**Tablica 6.38.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na pokusnim plohama s različitim metodama pripreme staništa (lokalitet „Gornja Kupčina“)

**Tablica 6.39.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.40.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012. godine

**Tablica 6.41.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.42.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.43.** Deskriptivna statistika za debljinski prirast na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012.

**Tablica 6.44.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Tablica 6.45.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“ između tretiranja i godina

**Tablica 6.46.** Deskriptivna statistika za visine mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012.

**Tablica 6.47.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2011. do 2011. godine

**Tablica 6.48.** Deskriptivna statistika za prsni promjer pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012. godine

**Tablica 6.49.** Deskriptivna statistika za prsni promjer pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2011. godine

**Tablica 6.50.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012. godine

**Tablica 6.51.** Deskriptivna statistika za debljinski prirast na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2011. godine

**Tablica 6.52.** Deskriptivna statistika za broj ponika i pomlatka iz sjemena hrasta kitnjaka u razdoblju 2011. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.53.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za broj biljaka iz sjemena hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.54.** Deskriptivna statistika za ukupan broj ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena prema različitim načinima pripreme staništa na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.55.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za ukupan broj ponika i pomlatka iz sjemena obične bukve na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.56.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za ukupan broj biljaka obične bukve i hrasta kitnjaka iz sjemena na lokalitetu „Doljani“ po tretiranjima i godinama

**Tablica 6.57.** Deskriptivna statistika za visinu pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2013. godine na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.58.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“ od 2010. do 2013. godine

**Tablica 6.59.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.60.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“ u razdoblju od 2010. do 2012. godine

**Tablica 6.61.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.62.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.63.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2013. godine na lokalitetu „Doljani“

**Tablica 6.64.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.65.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.66.** Deskriptivna statistika za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.67.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.68.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani” po godinama

**Tablica 6.69.** Deskriptivna statistika za visinu pomlatka obične bukve u razdoblju od 2010. do 2013. godine na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.70.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.71.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.72.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka obične bukve u razdoblju od tri godine (2010. do 2012. godine) na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.73.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.74.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

**Slika 6.75.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu visinskoga prirasta pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve po godinama i načinu poboljšanja tla na lokalitetu „Doljani” (2011. – 2013.).

**Tablica 6.76.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.77.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.78.** Deskriptivna statistika za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve u razdoblju od 2010. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.79.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.80.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani” po godinama

**Tablica 6.81.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visine na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

**Tablica 6.82.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

**Tablica 6.83.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

**Tablica 6.84.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

**Tablica 6.85.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani” po godinama

**Tablica 6.86.** Deskriptivna statistika za visine pomlatka i mladika gorskog javora u razdoblju od zime 2010. do zime 2012. na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.87.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka i mladika gorskog javora u razdoblju od 2010. do 2011. godine na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.88.** Deskriptivna statistika za odnos visine i promjera gorskog javora u razdoblju od 2010. i 2012. godine na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.89.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike gorskog javora u razdoblju od 2010. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.90.** Deskriptivna statistika za debljinski prirast na bazi stabljike pomlatka i mladika gorskog javora u razdoblju od 2010. do 2011. na lokalitetu „Doljani”

**Tablica 6.91.** Deskriptivna statistika broja biljaka na poduzorcima pokusnih ploha sjetve obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora“, na pokusnim plohama postavljenim pod zastorom krošanja obične smreke

**Tablica 6.92.** Deskriptivna statistika za visinu pomlatka iz sjemena obične bukve u razdoblju od 2011. do 2013. godine

**Tablica 6.93.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka iz sjemena obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

**Tablica 6.94.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visine ponika i pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

**Tablica 6.95.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od tri godine (2011. do 2012.)

**Tablica 6.96.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

**Tablica 6.97.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u rujnu 2013. godine prema različitim šumskouzgojnim metodama supstitucije (pod zastorom krošanja, jednostavna supstitucija)

**Tablica 6.98.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

**Tablica 6.99.** Deskriptivna statistika za broj ponika i pomlatka obične jele na lokalitetu „Bistranska gora” u vremenskom razdoblju od 2011. do 2013. godine

**Tablica 6.100.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena na lokalitetu „Bistranska gora”

**Tablica 6.101.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena na lokalitetu „Bistranska gora”

**Tablica 6.102.** Deskriptivna statistika za visine pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u vremenskom razdoblju od dvije godine prema supstitucijskim metodama te tipu i starosti šumskoga reprodukcijanskog materijala

**Tablica 6.103.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

**Tablica 6.104.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po pojedinim supstitucijskim metodama

**Tablica 6.105.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od dvije godine prema supstitucijskim metodama te tipu i starosti sadnoga materijala

**Tablica 6.106.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

**Tablica 6.107.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama

**Tablica 6.108.** Deskriptivna statistika za visine pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” u vremenskom razdoblju od tri godine prema supstitucijskim metodama



**Tablica 6.109.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

**Tablica 6.110.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po tipu šumskoga reprodukcijaskog materijala

**Tablica 6.111.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po godinama mjerenja

**Tablica 6.112.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od dvije godine prema supstitucijskim metodama te tipu i starosti sadnoga materijala

**Tablica 6.113.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

**Tablica 6.114.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po tipu šumskog reprodukcijaskog materijala

## POPIS SLIKA

---

**Slika 1.1.** Kultura obične smreke na Medvednici prije i nakon sušenja (Gospodarska jedinica „Bistranska Gora“, ljeta 2011. godine lijevo te ljeta 2013. godine desno)

**Slika 4.1.** Prostorni razmještaj lokaliteta obuhvaćenih istraživanjem

**Slika 4.2.** Položaj pokusnih ploha sjetve hrasta kitnjaka pod zastorom stabala obične smreke, ograđene pokusne plohe nakon čiste sječe (sanitarni sjek, latinski kvadrat) te pokusne plohe sadnje hrasta kitnjaka po metodi „jednostavne supstitucije“ (sanitarni sjek) na lokalitetu „Gornja Kupčina“ koju je obavilo poduzeća „Hrvatske šume“ d. o. o., Zagreb, 2003. godine

**Slika 4.3.** Prikaz pokusnih ploha na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“ (tri ponavljanja)

**Slika 4.4.** Položaj svih pokusnih ploha na lokalitetu „Doljani“: glavne pokusne plohe na kojima je obavljena sjetva i sadnja u okvirima istraživanja (latinski kvadrat, dolje), pokusne plohe kronosekvencije (sukcesija) te pokusne plohe praćenja uspjeha supstitucije koju je obavilo poduzeće „Hrvatske šume“ d. o. o. (plohe gorskog javora)

**Slika 4.5.** Položaj pokusnih ploha na lokalitetu „Bistranska gora“

**Slika 4.6.** Položaj pokusnih ploha nakon čiste sječe (sanitarni sjek) i pod zastorom krošanja na lokalitetu „Bistranska gora“

**Slika 4.7.** Položaj pokusnih ploha na lokalitetu „Bistranska gora“ na kojima je obavljena sadnja u progalama te praćen uspjeh pomlatka obične bukve (tri repeticije veličina 25 m<sup>2</sup>)

**Slika 5.1.** Ograđivanje pokusnih ploha (jednostavna supstitucija) na lokalitetu „Gornja Kupčina“ tijekom osnivanja pokusnih ploha

**Slika 5.2.** Ograđivanje pokusnih ploha („jednostavna supstitucija“) na lokalitetu „Gornja Kupčina“ tijekom osnivanja pokusnih ploha

**Slika 5.3.** Pokusna ploha na lokalitetu „Doljani“ (Šumarija Ozalj) u vrijeme osnivanja u proljeće 2010. godine (slika lijevo) i tri godine nakon osnivanja u ljeta 2013. godine (slika desno)

**Slika 5.4.** Pokusne plohe uoči sjetve i sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 5.5.** Pokusne plohe na lokalitetu „Gornja Kupčina“ nakon primjene herbicida i netretirane plohe u proljeće 2011. godine

**Slika 5.6.** Pokusne plohe nakon žetve korova na lokalitetu „Bistranska gora“ u ljeta 2011. godine (jednostavna supstitucija)

**Slika 5.7.** Uspjeh sjetve i sadnje evidentiran je na pokusnim plohama veličine 5 x 5 m ili 10 x 10 m u trima repeticijama, pri čemu je svaka biljka obilježena i praćena zasebno na svim lokalitetima

**Slika 5.8.** Izmjera biljaka na pokusnim plohama prirodne sukcesije u ljeta 2013. godine

**Slika 6.1.** Usporedba parametra stabilnosti obične smreke u svim istraživanim kulturama

**Slika 6.2.** 95 %-tni interval pouzdanosti zalihe nerazgrađene organske tvari na lokalitetu „Gornja Kupčina“ prema istraživanim supstitucijskim metodama

**Slika 6.3.** Zaliha različitih vrsta ostataka biljnog materijala prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 6.4.** Zaliha nerazgrađene organske tvari prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 6.5.** Zaliha različitih vrsta ostataka biljnog materijala prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.6.** Zaliha nerazgrađene organske tvari prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

**Slika 6.7.** Zaliha različitih vrsta ostataka biljnog materijala prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.8.** 95 %-tni interval pouzdanosti za vrijednosti dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 6.9.** 95 %-tni interval pouzdanosti za vrijednosti dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.10.** 95 %-tni interval pouzdanosti za vrijednosti dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

**Slika 6.11.** Primjer segmenta Osnovne pedološke karte s lokalitetom Gornja Kupčina

**Slika 6.12.** Reakcija tla (pH H<sub>2</sub>O) na istraživanim pokusnim plohama (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

**Slika 6.13.** Reakcija tla (pH n - KCl) na istraživanim pokusnim plohama (O - Doljani, J - Gornja Kupčina, Z - Bistranska gora)

**Slika 6.14.** Usporedba dobivene pH-vrijednosti (u vodi) na istraživanim lokalitetima s normalnom distribucijom podataka za odgovarajuće tipove tala u Republici Hrvatskoj

**Slika 6.15.** Organska tvar (humus) na istraživanim pokusnim plohama (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

**Slika 6.16.** C/N odnos na istraživanim pokusnim plohama (O - Doljani, J - Gornja Kupčina, Z - Bistranska gora)

**Slika 6.17.** Ukupni dušik na istraživanim pokusnim plohama (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

**Slika 6.18.** Usporedba dobivene vrijednosti humusa na istraživanim lokalitetima s normalnom distribucijom podataka za odgovarajuće tipove tala u Republici Hrvatskoj

**Slika 6.19.** Odnos C/N na istraživanim pokusnim plohama (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

**Slika 6.20.** 95 %-tni interval pouzdanosti za apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2011. godine

**Slika 6.21.** Apsolutne i relativne vrijednosti prosječnog svjetla snimljene u kolovozu 2011. godine po pojedinim pokusnim plohama

**Slika 6.22.** 95 %-tni interval pouzdanosti za apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2013. godine po pojedinim pokusnim plohama

**Slika 6.23.** Apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2013. godine po pojedinim pokusnim plohama

**Slika 6.24.** Povećanje apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2011. i 2013. godine po pojedinim pokusnim plohama

**Slika 6.25.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama na rubovima kulture obične smreke 9 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 6.26.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama 6 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 6.27.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama 8 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 6.28.** Ukupan broj biljaka na pokusnim plohama praćenja spontane pojave prirodne šumske vegetacije na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.29.** Najzastupljenije vrste drveća na pokusnim plohama u različitim starostima nakon sječe na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.30.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim plohama jednu godinu nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.31.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim plohama tri godine nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.32.** Spontani pridolazak gorskog javora tri godine nakon sječe smrekove kulture na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.33.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim plohama šest godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.34.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim plohama 14 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.35.** Broj biljaka obične smreke po visinskim razredima na pokusnim plohama svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.36.** Broj biljaka hrasta kitnjaka po visinskim razredima na pokusnim plohama svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.37.** Broj biljaka obične breze po visinskim razredima na pokusnim plohama svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.38.** Broj biljaka gorskog javora po visinskim razredima na pokusnim plohama svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.39.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama 3 godine nakon napludnog sijeka u smrekovoj kulturi na lokalitetu „Bistranska gora“

**Slika 6.40.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama četiri godine nakon „jednostavne supstitucije“ kulture na lokalitetu „Bistranska gora“

**Slika 6.41.** Pomladak hrasta kitnjaka iz sjemena u srpnju 2013. godine (lokalitet „Gornja Kupčina“)

**Slika 6.42.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2011. i 2012. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“.

**Slika 6.43.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2011. i 2012. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“ za različite šumskouzgojne metode (pod zastorom, jednostavna supstitucija)

**Slika 6.44.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Pregrada - Klanjec“ (jednostavna supstitucija).

**Slika 6.45.** Na lokalitetu „Gornja Kupčina“ najbolje je preživljenje utvrđeno kod sadnica hrasta kitnjaka sađenog na humke (G. j. „Jastrebarske prigorske šume“)

**Slika 6.46.** 95 %-tni interval pouzdanosti za pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (sadnja na humke).

**Slika 6.47.** 95 %-tni interval pouzdanosti za pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (kontrolne pokusne plohe).

**Slika 6.48.** 95 %-tni interval pouzdanosti za pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (kontrolne pokusne plohe).

**Slika 6.49.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka hrasta kitnjaka po godinama, na lokalitetu „Gornja Kupčina“

**Slika 6.50.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina“.

**Slika 6.51.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (2010. – 2013.).

**Slika 6.52.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (2011. – 2012.).

**Slika 6.53.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (2010. – 2012.)

**Slika 6.54.** Kvocijant visine i duljine stabljike mladika hrasta kitnjaka po razredima kvalitete na lokalitetu „Gornja Kupčina” u 2010. godini

**Slika 6.55.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2011. – 2011.).

**Slika 6.56.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prsni promjer mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. – 2012.).

**Slika 6.57.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast prsnoga promjera mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. – 2011.).

**Slika 6.58.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2011. – 2012.).

**Slika 6.59.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. - 2011.).

**Slika 6.60.** Pomladak hrasta kitnjaka iz sjemena u srpnju 2013. godine (lokalitet „Doljani“, jednostavna supstitucija, „pod motiku“)

**Slika 6.61.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka iz sjemena hrasta kitnjaka po godinama i tretiranjima na lokalitetu „Doljani”.

**Slika 6.62.** 95 %-tni interval pouzdanosti za ukupan broj ponika i pomlatka iz sjemena obične bukve po tretiranjima na lokalitetu „Doljani”.

**Slika 6.63.** 95 %-tni interval pouzdanosti za ukupni broj biljaka obične bukve i hrasta kitnjaka iz sjemena, po tretiranjima, u dvije godine izmjere na lokalitetu „Doljani”

**Slika 6.64.** Pomladak i mladik hrasta kitnjaka u ljeto 2013. godine (četiri godine nakon presadnje) na kontrolnim pokusnim plohama na lokalitetu „Doljani“

**Slika 6.65.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka hrasta kitnjaka po godinama i po tretiranjima na lokalitetu „Doljani”

**Slika 6.66.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).

**Slika 6.67.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama i načinu pripreme staništa na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2013.).

**Slika 6.68.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).

**Slika 6.69.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2013.

**Slika 6.70.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i na kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2012.

**Slika 6.71.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i na kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2013.

**Slika 6.72.** Obična bukva tri godine nakon presadnje na lokalitetu „Doljani“ (kontrola lijevo, listinac desno)

**Slika 6.73.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i na kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2012.

**Slika 6.74.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu visina pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve na pokusnim plohama primjene bukovog listinca i kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2013.

**Slika 6.75.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu visinskog prirasta pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve po godinama i načinu poboljšanja tla na lokalitetu „Doljani” (2011. - 2013.).

**Slika 6.76.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve po godinama i tretiranjima na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2013.).

**Slika 6.77.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu prirasta promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve po godinama i tretiranjima na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).

**Slika 6.78.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka i mladika gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).

**Slika 6.79.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka i mladika gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2011.).

**Slika 6.80.** 95 %-tni interval pouzdanosti za odnos visine i promjera gorskog javora u razdoblju od dvije godine na lokalitetu „Doljani”

**Slika 6.81.** Kvocijent visine i duljine stabljike mladika gorskog javora po kvalitetnim razredima. Najveći broj stabala nalazi se u razredu od 0,7 do 0,8 (40,7 %). U vrijednosnom razredu (0,8 – 0,9) nalazi se 31,5 %, dok se u najvišem razredu nalazi tek 7,41 %.

**Slika 6.82.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.)

**Slika 6.83.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2011.).

**Slika 6.84.** Poduzorci ponika obične bukve pod zastorom smrekove kulture nakon ponovljene sjetve u jesen 2011. godine (lokalitet „Bistranska gora“) na pokusnim plohama pod zastorom krošanja obične smreke

**Slika 6.85.** Smanjenje broja biljaka na poduzorcima u prvoj i trećoj godini nakon sjetve, u jesen 2011. i 2013. godine (lokalitet „Bistranska gora“) na pokusnim plohama pod zastorom krošanja obične smreke

**Slika 6.86.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinu pomlatka iz sjemena obične bukve u razdoblju od tri godine na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama supstitucije (pod zastorom, jednostavna supstitucija).

**Slika 6.87.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka obične bukve iz sjemena po godinama na lokalitetu „Bistranska gora” (2012. – 2013.).

**Slika 6.88.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena na lokalitetu „Bistranska gora” (2011. – 2013.)

**Slika 6.89.** Jela i bukva iz sjemena dvije godine nakon sjetve (poduzorci u lipnju 2013. godine)

**Slika 6.90.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu “Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom, u progalama i jednostavna supstitucija) te tipu i starosti šumskoga reprodukcijuskog materijala.

**Slika 6.91.** Obična bukva četiri godine nakon sadnje na pokusnoj plohi jednostavne supstitucije (lijevo) i pod zastorom stabala obične smreke (desno)

**Slika 6.92.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu “Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom, u progalama, jednostavna supstitucija) te tipu i starosti šumskoga reprodukcijuskog materijala.

**Slika 6.93.** 95 %-tni interval pouzdanosti usporedbe visine pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu “Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom i jednostavna supstitucija).

**Slika 6.94.** 95 %-tni interval pouzdanosti usporedbe visinskog prirasta pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu “Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom i jednostavna supstitucija) te po tipu i starosti sadnoga materijala.

**Slika 7.1.** Zabilježeno sušenje obične smreke u kulturi na lokalitetu „Bistranska gora“ (Šumarija Zagreb, slika lijevo) te na pokusnim plohama (slika desno) četiri godine nakon osnivanja pokusa

**Slika 7.2.** Otvaranje sklopa zbog sušenja krošanja (2011. godina /gore/, 2013. godina /dolje/)

**Slika 7.3.** Obična smreka iz zastora (sivo) s podsađenom sadnicom obične bukve (crno) (Izvor: Kazda, 2005. a)

**Slika 7.4.** Pokusne plohe jednostavne supstitucije na kojima su zabilježene najveće štete od mraza i suncožara (lokalitet „Doljani”, lijevo) te štete od kasnoga mraza na pomlatku hrasta kitnjaka (desno)

**Slika 7.5.** Gusti korijenov sustav obične smreke u organskom te gornjem sloju mineralnog dijela tla na lokalitetu „Bistranska gora” pojačava međuvrsnu kompeticiju te otežava sadnju

## **1. UVODNE NAPOMENE I PREDMET ISTRAŽIVANJA**



Obična smreka (*Picea abies* /L./ Karst.) vrsta je s trenutačno najvećom pokrovnosti od svih šumskih vrsta drveća u Europi (Spiecker i dr. 2004 d) te čini nezaobilaznu vrstu i u šumarstvu Republike Hrvatske. Šezdesetih i sedamdesetih godina 20. stoljeća bila je najzastupljenija crnogorična vrsta u pošumljavanju na našim prostorima zahvaljujući njezinim dobrim šumskouzgojnim svojstvima te širokoj ekološkoj valenciji. Pionirske osobine obične smreke, koje su karakterizirane relativno malim zahtjevima prema staništu, već su mnogo puta isticali europski i hrvatski znanstvenici koji su se i u najmanjoj mjeri dotaknuli problematike pošumljavanja ovom vrstom (npr. Oršanić, 1994, 1995, 2001; Komlenović i dr., 1995; Orlić i dr., 1997; Perić i dr., 2004). Mogućnosti pošumljavanja običnom smrekom te njezina produktivnost u nas proučavani su nakon osnivanja Instituta za četinjače (danas Hrvatski šumarski institut), što je rezultiralo osnivanjem brojnih pokusa na području cijele države (Perić i dr., 2006). Prema istraživanjima Tijardović i Perić (2013), smreka na bujadarama i vrištinama središnje Hrvatske postiže drvenu zalihu od 231,89 m<sup>3</sup>/ha u 23. godini do čak 415,27 m<sup>3</sup>/ha u 32. Godini, čime se može uspoređivati s najproduktivnijim područjima u Europi. Obična je smreka za mnoge europske zemlje najproduktivnija vrsta drveća (Spiecker, 2000 a, 2000 b; von Teuffel i dr., 2004).

Iako nešto kasnije i u mnogo manjoj mjeri nego u Europi, povećanje udjela crnogoričnih vrsta započelo je i u Hrvatskoj. Tako Orlić (1974) preporučuje povećanje udjela crnogoričnih vrsta u šumskom fondu zbog povećavanja zahtjeva za mekim drvetom i u Europi i na tadašnjoj državnoj razini. Gračan (1984) ističe kako je smreka vitalna i vrlo varijabilna vrsta te stoga i ne čudi što je u svijetu raširena na velikom području izvan svojega prirodnog areala (Komlenović, 1973; Teuffel i dr., 2004). Tijekom šezdesetih i sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća obična je smreka gospodarski najzanimljivija autohtona vrsta drveća za podizanje kultura u kontinentalnom dijelu Hrvatske (Orlić, 1986). U to se vrijeme u planovima pošumljavanja i njihovoj realizaciji od svih vrsta čak 50 % udjela (po površini) odnosi na smreku (Orlić, 1986). Ophodnja obične smreke kreće se od 60 do 150 godina, ovisno o staništu i klimatskim uvjetima (Dietrichson, 1982, preuzeto od Gračan, 1984), ali i cilju gospodarenja. Tako su iznimka priznate sjemenske sastojine većih ophodnji („Hrvatske šume“ d. o. o., Zagreb, 2006). Ipak, povećanje udjela crnogoričnih vrsta i njegove negativne posljedice nikada na našim prostorima ni približno nisu imale opseg kao u nekim europskim zemljama, a važnost kultura obične smreke u Republici

Hrvatskoj, osobito za pošumljavanje raspoloživih površina, tek treba biti prepoznat u budućnosti (Tijardović i Perić, 2013).

Spiecker i dr. (2004 b) daju povijesni pregled gospodarenja šumskim kulturama obične smreke u Europi iz kojeg proistječe trenutačna problematika gospodarenja, a omogućuje nam bolje razumijevanje do sada provedenih znanstvenih istraživanja. Naime, tijekom 19. i 20. stoljeća područja prirodnih šuma obične bukve i hrastova te drugih autohtonih vrsta bjelogorice znatno su smanjena, dok su se područja pod crnogoricom, osobito običnom smrekom i običnim borom, povećala. Kako bi se što više ublažio ozbiljan nedostatak drveta, u Europi su se u prošlosti osnivale i njegovale visoko produktivne šume, pri čemu su se na najvećim površinama podizale kulture obične smreke i običnog bora (*Pinus sylvestris* L.). Biološke osobine ovih vrsta omogućivale su lako osnivanje i gospodarenje šumama te su osiguravale visoke prinose i više cijene mekog drveta u usporedbi s tvrdim drvetom. Prve kulture obične smreke u Europi podignute su još 1789. godine, kada se ovakva praksa preporučivala za popravljavanje tala koja više nisu bila prikladna za podizanje bjelogoričnih šuma u Njemačkoj (Johann i dr., 2004). Primjena jednostavnih uzgojnih metoda, niska cijena sadnje (uključujući i popunjavanje) te relativno male štete od brsta divljači dodatne su karakteristike ove crnogorične vrste, zbog čega je postala popularna diljem Europe. Razdoblje od 1914. do 1945. jest vrijeme stagnacije gospodarenja šumama i njihova opustošenja tijekom svjetskih ratova (devastacija zbog potrebe za drvetom), dok su se sadnja i pošumljavanje smatrali neopravdanim ekonomskim gubitkom u vremenima ratne recesije. Jačina devastacije, čak i nezrelih kultura, ovisila je o području, dok su pojedine šume izuzete od sječe kao znamenitosti čak i tijekom ratova. Pošumljavanje devastiranih područja počelo je nakon Drugoga svjetskog rata jer su na većini područja već bila izgubljena svojstva šumskoga tla. U razdoblju od 1945. do 1980. godine podizale su se jednodobne čiste sastojine, pri čemu se obična bukva smatrala štetnom vrstom te je tijekom vremena posječena i prodana. Očuvanje općekorisnih funkcija krajolika uzimalo se opet u obzir kao i na početku stoljeća, ali je ipak zauzimalo drugo mjesto iza ekonomije. Razdoblje 1980. – 2000. vrijeme je „pomirenja“ s prirodom i naglašenim karakterom zaštite šuma. Danas je areal smrekovih šuma određen prethodnim gospodarenjem, a ne prirodnim ekološkim faktorima, ali trenutačni visoki prirasti i povećanje drvnih zaliha ovih, novih kultura upućuje na to kako su početni ciljevi pošumljavanja uspješno postignuti (Spiecker i dr., 1996).

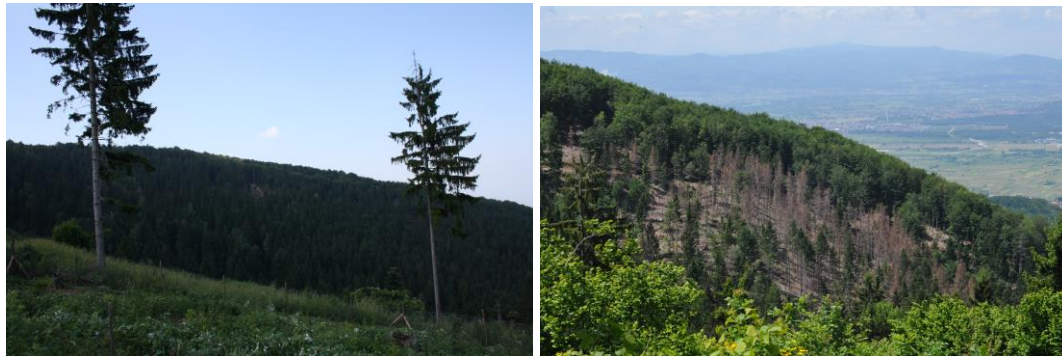
Obična smreka, vrsta skromnih ekoloških zahtjeva i velikih proizvodnih mogućnosti posljednje je stoljeće bila predmet mnogobrojnih rasprava ne samo zbog svojih dobrih osobina. Naime, znatne materijalne štete i ekološke posljedice nastale kao rezultat različitih biotskih i abiotskih utjecaja (Kantor i dr., 2000), osobito olujnih nevremena, potvrdile su nestabilnost ovakvih monokultura podignutih izvan prirodnoga areala i na velikim površinama (npr. oluja 1920. te oluja Vivian 1990., Wiebke 1991., Lothar 1999.). Vidaković i Franjić (2004) naglašavaju kako obična smreka zbog plitkog, tanjurastog korijenova sustava često stradava od vjetroizvala. U većini se europskih zemalja monokulture obične smreke smatraju iznimno nestabilnima osobito zbog oluja, napada potkornjaka i u manjoj mjeri vjetroloza, o čemu svjedoče veliki udjeli sanitarnih sjekova (npr. Austrija 25 %, Slovačka 50 %), (Lüpke i dr., 2004; Hanewinkel i Pretzsch, 2000). Klimo i dr. (2000) ističu da su stanje šumskih kultura ometale katastrofe već u prošlim stoljećima, na što je također utjecao njihov potpuno izmijenjen karakter u smislu intenzivne proizvodnje (intenzivne monokulture). Najveće katastrofe u Europi uzrokovane su abiotičkim čimbenicima kao što su vjetar, snijeg, mraz i led, a opseg šteta uzrokovanih tim čimbenicima obuhvaćao je sječu od 90 milijuna m<sup>3</sup> u radoblju od 1963. do 1990. godine. Osim abiotičkih čimbenika, znatne štete u šumskim kulturama uzrokovane su i biotskim čimbenicima koji često poprimaju obilježja katastrofa (Heiermann i Földner, 2006). U nekoliko posljednjih desetljeća pojavili su se novi štetni utjecaji kao što su npr. industrijsko onečišćenje, učestali klimatski ekstremi te klimatske promjene, koji, sinergijski djelujući, dodatno opterećuju sve šumske ekosustave, a osobito šumske kulture (Klimo i dr., 2000).

Slaba trenutačna zastupljenost smrekovih kultura u ukupnoj površini šuma u Hrvatskoj (manje od 8500 ha, „Hrvatske šume“ d. o. o., Zagreb, 2006) te mnogobrojni problemi s kojima se stručnjaci u praksi susreću uglavnom su rezultat pogrešnog odabira staništa i izostalih ili loše provedenih šumskouzgojnih zahvata. U Republici Hrvatskoj znatnije štete tijekom dvadesetog stoljeća zabilježene su samo u kulturama na lokalitetu Medak koje su i gotovo jedine veće monokulture obične smreke u nas. Ipak, u prvom desetljeću 21. stoljeća bilježimo katastrofalne štete u svim kulturama koje su podignute izvan područja optimalnih uvjeta za uspijevanje obične smreke. Prema većini izvještaja iz prakse („Hrvatske šume“ d. o. o., Zagreb), na tim područjima smrekove kulture ne postižu ni veći ekonomski dobitak, a problem gospodarenja kulturama smreke na prvom je mjestu među trenutačnim problemima gospodarenja šumskim kulturama u Hrvatskoj. Kulture koje su već osnovane radi veće proizvodnje drveta, a time i većom

ekonomskom dobiti postale su upravo suprotno, teret i ekonomski gubitak. Kao posljedica suše od 2011. do 2013. g., napadom potkornjaka i sušenjem zahvaćene su brojne kulture smreke izvan njezina prirodnog areala. Prema podacima iz Šumarija, doznaka prethodnog prihoda 2013. i 2014. g. u oko 90 odsjeka kultura obične smreke, običnog i crnog bora realizirana je većinom kroz slučajni prihod, što je jasan dokaz kako je stabilnost smrekovih kultura u Hrvatskoj narušena. Zbog spleta socijalnih i društvenih promjena došlo je do promjene ciljeva gospodarenja, a to čini šumske kulture još osjetljivijima na novonastale klimatske i ekološke uvjete, jer propisani šumskouzgojni zahvati njege u mnogim slučajevima nisu obavljani. Opća je strategija gospodarenja kulturama u Hrvatskoj promijenjena, čime je narušen osnovni preduvjet gospodarenja svakom šumskom kulturom. Neporeciva je istina kako su te kulture najviše izložene štetnim pojavama upravo u tridesetim i četrdesetim godinama starosti, tj. u dobi kada se pojavljuju prve posljedice zakašnjelih ili neprovedenih uzgojnih radova te prvih evidentnijih znakova klimatskih i drugih okolišnih promjena (suše, kisele kiše, promjena vodnog režima, klimatske promjene). Srećom, zastupljenost takvih kultura u šumskom fondu Republike Hrvatske iznimno je mala, osobito u usporedbi s pojedinim europskim zemljama. Na ostalim područjima štete u kulturama postoje, ali su mnogo manje zastupljene, osobito u dobro gospodarenim kulturama.

Jedan od najraširenijih uzroka odumiranja smrekovih stabala te narušene stabilnosti i strukture postojećih kultura u Republici Hrvatskoj svakako su štete od smrekovih potkornjaka. Iako su potkornjaci sekundarni štetnici koji napadaju fiziološki oslabjela stabla i ubrzavaju proces njihove destrukcije, zbog promijenjenih klimatskih uvjeta preuzeli su karakter primarnih štetnika (Pernek, 2001). Fiziološko slabljenje smrekovih kultura u sjevernoj Hrvatskoj nastupilo je zbog suša u devedesetim godinama dvadesetog stoljeća, kada je zabilježeno sedam najtoplijih godina u razdoblju 1880. – 2000. (Katušin, 2000; Katušin, 2001). To je znatno otežalo normalan razvoj umjetno podignutih smrekovih kultura koje su se često morale prilagođivati ionako neprikladnom staništu, dok su uvjeti njihovih neprijatelja fitofaga poboljšani. Tijek je sušenja smrekovih stabala nakon pojave potkornjaka brz. Prema uvidu stanja na terenu koji sam obavila u razdoblju od 2008. do 2013., najčešće odumiranje stabala smreke zbog potkornjaka događa se na većim površinama (slika 1.1.). To utvrđuje i Pernek (2001) te ističe da kulminacija gradacije može trajati i desetak godina ne poduzimaju li se zaštitne mjere. Prema opažanjima s terena, na većem dijelu kultura obične smreke nisu obavljane potrebne mjere zaštite stabala. Skupa i teško

primjenjiva metoda lovnih stabala u pravilu se primjenjuje samo u prirodnim sastojinama, ali ne i u šumskim kulturama (npr. UŠP Delnice) jer za kulture u službenoj evidenciji nema zabilježenih šteta. Primjena je ove metode otežana jer je teško pogoditi ispravan trenutak za postavljanje lovnih stabala i njegovo uništavanje (Pernek, 2001).



**Slika 1.1.** Kultura obične smreke na Medvednici prije i nakon sušenja (Gospodarska jedinica „Bistranska Gora“, ljeto 2011. godine /lijevo/ te ljeto 2013. godine /desno/)

Mnogi problemi povezani s kulturama obične smreke, a s kojima su se susreli šumarski stručnjaci, rezultirali su smanjenim interesom za osnivanje kultura ove vrste drveća. Znatna odumiranja stabala smreke evidentirana su uglavnom u kulturama koje se nalaze u pojasu hrastova lužnjaka i kitnjaka, dakle izvan optimalnih uvjeta za uspijevanje obične smreke. Na ovakvim površinama potrebno je obaviti sanaciju, a specifični problemi koji su uočeni na terenu rezultat su zakašnjelih zahvata supstitucije (zakorovljenje i degradacija staništa, poteškoće pri supstituciji, propadanje drveta, smanjenje cijene drvnih sortimenata, umanjeње općekorisnih funkcija kultura i dr.).

Zabrinjavajuće stanje kultura obične smreke potaknulo je istraživanja njihove supstitucije i konverzije u stabilnije kulture diljem Europe. Međunarodni te nacionalni projekti svjedoče o potrebi sanacije površina pod monokulturama obične smreke koje su u lošem zdravstvenom stanju, a neke su kulture nakon prirodnih poremećaja čak gotovo potpuno nestale (npr. češki projekt *Forest rehabilitation in Krkonoše and Šumava national park*). Općenito, najopsežnija istraživanja obavljena su u okvirima projektnog centra Europskoga šumarskog instituta pod nazivom CONFOREST (*The question of conversion of coniferous forests*) osnovanog 2000. godine. U ovaj projekt nisu uključene zemlje sjeverne i istočne Europe kao što je zapadni dio Rusije, Finska i Norveška s velikim udjelima prirodne smreke te zemlje južne Europe,

uključujući i Hrvatsku, s malim udjelom kultura. Tako Republika Hrvatska nije ušla u proračune hitnog obavljanja zahvata supstitucije za koje je bilo potrebno oko 30 % šumske površine pod monokulturama. Smatra se kako će supstitucija u mješovite kulture pružiti veću stabilnost prema klimatskim poremećajima i štetnicima, a osobito na površinama s visokim prioritetom za supstituciju (plitka tla, tla s visokom razinom vode ili s periodima poplava kao npr. u Francuskoj, Velikoj Britaniji i Austriji). I u ostalim zemljama s visokim udjelom monokultura obične smreke preporučuje se supstitucija radi povećanja stabilnosti, pa čak i na dubokim i bogatim tlima (Lüpke i dr., 2004; Spiecker i dr., 2004 c).

Gotovo sve europske zemlje posjeduju specifične razloge za supstituciju kultura obične smreke (Lüpke i dr., 2004), pa je takav slučaj i u Republici Hrvatskoj (Tijardović i Perić, 2013). Dok su problemi nastali zbog intenzivnog iskorištavanja staništa te smanjenja bioraznolikosti za većinu zemalja osnovni razlozi za supstituciju (Klimo i dr., 2000), u Republici Hrvatskoj obična se smreka koristi isključivo za pošumljavanje (Oršanić, 1994, 1995). Zbog velike površine koju zauzimaju u Europi se monokulture obične smreke neće moći zamijeniti brzinom kojom se mijenjaju uvjeti pogodni za njihove štetnike, ali i njihov rast. To je u prvom redu ekonomski problem. Prema Teuffelu i dr. (2004), u okvirima projekta CONFOREST približno je procijenjena količina smrekovih kultura u Europi koja treba biti supstituirana. Smatra se kako je za supstituciju tih kultura u multifunkcionalne i potrajne mješovite šume za početak dovoljan udio od 30 % bjelogoričnih vrsta (uglavnom obične bukve). Prema ovome osnovnom zahtjevu, procijenjena površina unosa 30 % bjelogorice iznosi oko 1,1 – 1,6 milijuna hektara. Međutim, u ovim procjenama nisu uzete u obzir površine na neprikladnim staništima, gdje smreka potpuno treba biti zamijenjena prikladnijom vrstom drveća. Dugoročno gledano, potreba za supstitucijom na području Europe bila bi oko 4 – 5 milijuna hektara.

U Hrvatskoj to nije slučaj. Pri usporedbi količine kultura u Republici Hrvatskoj i ostalim europskim zemljama treba uzeti u obzir činjenicu da su u dostupne europske izračune uključene i prirodne sastojine i šumske kulture jer se one u većini europskih zemalja i ne mogu razlučiti (Teuffel i dr., 2004). Među zemlje s najvećim površinama ubrajaju se Švedska (3 319 320 ha ili 7,4 %), Njemačka (2 043 332 ha ili 5,7 %) te Austrija (1 313 000 ha ili 15,6 %).

Važnost supstitucije kultura obične smreke na našim prostorima povezana je s pošumljavanjem raspoloživih površina kojih u Republici Hrvatskoj ima u znatnoj količini (Tijardović i Perić, 2013; Tomić i dr., 2008), a ne s problematikom gospodarenja postojećim

kulturama koje tek s neznatnim udjelom sudjeluju u šumskom fondu (8364 ha ili 15 % od ukupne površine pod kulturama, Izvor: Šumskogospodarska osnova područja, 2006. – 2015.). Obična se smreka nalazi na trećem mjestu prema zastupljenosti vrsta u šumskim kulturama, a Republiku Hrvatsku na osnovi ovih statističkih podataka možemo svrstati među europske zemlje kao što su Irska s 98 485 ha ili 0,1 % šumske površine te Nizozemska, s najmanjim udjelom šumskih kultura u cijeloj Europi (< 0,1 %). Također, kulture obične smreke dosada su većinom podizane na području koje ekološkim obilježjima dobro odgovara običnoj smreci (npr. bujadare i vrištine u Lici). Površine pod monokulturama relativno su male, a staništa nisu toliko degradirana intenzivnom proizvodnjom drveta kao u većini europskih zemalja (proizvodnja u više uzastopnih ophodnji, neodgovarajuća priprema staništa i sl.).

Potreba podizanja šumskih kultura bit će naglašena u budućnosti (Oršanić, 2003). Još je u drugoj polovici dvadesetog stoljeća utvrđeno kako je obična smreka najbolji odabir za pošumljavanje u usporedbi s ostalim autohtonim vrstama, osobito ako se govori o području bujadnica i vriština središnje Hrvatske (Orlić, 1979, 1983, 1993; Komlenović, 1995; Perić i dr., 2004; Perić i dr. 2006). Na tome području kulture obične smreke dragocjen su doprinos oplemenjivanju staništa svojom mnogo većom proizvodnjom drveta te kao prva stepenica u sukcesijskome procesu pripreme staništa za klimatogene vrste, što je čini idealnom vrstom za pošumljavanje (Orlić, 1974; Oršanić, 1994, 1995, 2001; Gračan, 1984). Osnivanje kultura obične smreke preporučuje se u vegetacijskom pojasu bukve i jele, gdje je optimum za njihov razvoj, te u pojasu hrasta kitnjaka na svježijim staništima sjevernih ekspozicija i vlažnijim dolinama (Šafar, 1963; Oršanić, 1994; Berger i Hager, 2000; Tjoelker i dr., 2007; Barszcz i Małek, 2008). Kulture obične smreke treba osnivati na dubljim, vlažnim i lakšim tlima (Oršanić, 1994). Ovdje hrast kitnjak, obična bukva i obična jela kao dominantnije vrste slijede u sukcesivnom procesu nakon obične smreke. Područja nižih nadmorskih visina te suša staništa ne preporučuju se za pošumljavanje ovom vrstom, osobito ako se uzmu u obzir predviđene klimatske promjene koje će utjecati na pomak eko - fiziološke granice ove vrste prema višim nadmorskim visinama (Hering i Irrgang, 2005).

U kulturama, ali i u prirodnim sastojinama obične smreke dolazi do sporije razgradnje i nakupljanja organske tvari u šumskoj prostirci. Debljina i masa humusnog horizonta ovise o uvjetima staništa i biomasi sastojine te iznose od 0,7 do 15 cm, tj. od 12 do 168 t/ha (Martinović, 1970). Utjecaj monokulture obične smreke na stanište može biti negativan. On ovisi o mnogim

čimbenicima (osobito o prethodnom korištenju zemljišta: Kacálek i dr., 2009) te nije potvrđen u svim studijama. Miles (1986) daje prikaz različitih studija u kojima je na pojedinim lokalitetima došlo do sniženja pH-vrijednosti u površinskome sloju tla, dok druge značajnije negativne promjene nisu utvrđene. Ipak, ako se uspoređi s prirodnom sastojinom obične bukve, njezin se utjecaj očituje u promjeni iz *mull* u *mor* tip humusa s mogućnošću procesa podzolizacije, pogoršanje vodnog režima, smanjenje izmjenjivih nutrijenata u gornjim horizontima, povećanje C/N omjera, smanjenje postotka amonijačnog dušika pretvorenog u nitratre te zakiseljenje površinskog dijela humusnoga sloja (Binkley i Valentine, 1991; Oršanić, 1994; Klimo, 2000; Prskawetz i Schadauer, 2000; Klimo i Kulhavy, 2006; Löf i dr., 2006; Perković i dr., 2007; Kukla i Kuklová, 2011).

Uspoređujući obilježja staništa u monokulturama s obilježjima tla na kojemu duže razdoblje nije bilo šume, utjecaj je pozitivan (Šafar, 1963; Melvin i Cannell, 1999). Povoljan utjecaj obične smreke na stanište, ali i sljedeću generaciju (meliorativna uloga), očituje se u humizaciji površinskoga sloja te u povećanju organske tvari u različitim oblicima i horizontima tla (Perković i dr., 2007; Rosenqvist, 2007; Kacalek i dr., 2011; Kacálek i dr., 2013; Holubík i dr., 2014), poboljšanju fizikalnih svojstava tla (povećanja poroznosti tla: Vopravil i dr., 2014), stvaranju povoljnih mikroklimatskih uvjeta te u zaštiti tla od degradacije zbog erozije i intenzivne pojave korova. Već u drugoj uzastopnoj ophodnji kulture obične smreke te starim prirodnim sastojinama bilježe se već navedene negativne promjene staništa (Kacálek i dr., 2009; Podrázský i Procházka, 2009; Podrázský i dr., 2009). Supstitucija kultura koje su poslužile za pošumljavanje nužna je na kraju ophodnje jer one ipak ne čine ekološki i gospodarski optimum određenog područja.

Stoga se otvaraju pitanja u kolikoj mjeri stvoreni ekološki uvjeti u kulturama obične smreke utječu na klijanje sjemena te preživljenje, rast i razvoj ponika i pomlatka tijekom supstitucije. Utjecaj nakupljene organske tvari bit će jasniji ako se odgovori na pitanja kemizma i zalihe organske tvari u našim uvjetima. Za uspješnu provedbu supstitucije osobito je važno ustanoviti mogu li se i na koje načine uzgojnim zahvatima ublažiti navedeni negativni te iskoristiti povoljni utjecaji kultura na stanište. Ako se uzme u obzir i činjenica da kulture obične smreke u Europi imaju drukčiju povijest, stanišne uvjete te bitno drugačiji način gospodarenja od onih u Republici Hrvatskoj, opravdana je potreba za detaljnim istraživanjem uspjeha pojedinih



---

metoda supstitucije te povezanog utjecaja nakupljanja organske tvari šumske prostrirke u našim uvjetima.

Problematika gospodarenja kulturama obične smreke, kao uostalom i ostalim kulturama i prirodnim šumskim sastojinama, poprima u Europi sve veću važnost kako se dinamika promjene svjetske klime ubrzava. Klimatske promjene imaju znatan utjecaj na kulture obične smreke jer je ova vrsta, zbog plitkog zakorjenjivanja osobito osjetljiva na sušna razdoblja te olujna nevremena. Dodatne otežavajuće okolnosti promjene svjetske klime osobito su isticane u znanstvenim raspravama nakon 4. izvještaja Međunarodnog panela o klimatskim promjenama, u kojemu se potvrđuje da je izravna ljudska aktivnost uzrok promjenama (Intergovernmental Panel on Climate Change 2007). Na mnogobrojnim znanstvenim konferencijama i radionicama klimatske su promjene žarište rasprave, a svrha brojnih međunarodnih (npr. COST akcija Echoes, COST akcija EuMixfor) i nacionalnih projekata jest pronalaženje šumskouzgojnih zahvata koji povećavaju adaptabilnost šumskih ekosustava.

## **2. DOSADAŠNJE SPOZNAJE O ISTRAŽIVANOM PROBLEMU**

Kako je obična smreka najzanimljivija europska ekonomska vrsta, vrsta s najvećom pokrovnosti, ali ujedno i vrsta koja često tvori monokulture na velikim površinama (Spiecker, 2000. a; Spiecker, 2000. b) podignute na neprikladnim staništima, koje ujedno imaju slabu stabilnost i otpornost na abiotske i biotske čimbenike (Pretzsch, 2005; Knoke i dr., 2005; Pretzsch i dr., 2012), jasno je kako se supstitucijom tih kultura već niz godina bave vodeći europski znanstvenici. Ovo je osobito istaknuto u zemljama koje imaju najveći udio monokultura smreke i kod kojih su zabilježene najveće štete (Njemačka, Austrija, Češka Republika). Ova je problematika već nekoliko desetljeća aktualna u europskim zemljama jer je supstitucija složen i dugotrajan proces, a ishod provedenog zahvata u potpunosti je vidljiv tek nakon dužega razdoblja.

Za Republiku Hrvatsku zanimljivo je istaknuti kako, iako je obična smreka jedna od intenzivno istraživanih vrsta s gledišta uzgajanja šuma, osnivanja šuma i ishrane bilja (Oršanić, 1995, 2001; Komlenović, 1973, 1975, 1982, 1985; Komlenović i dr., 1965, 1969, 1995. a, 1995. B; Orlić, 1979.; Orlić i Komlenović, 1987; Orlić i dr., 1991), znanstvenih radova koji se bave supstitucijom kultura ove vrste gotovo i nema. Samo Matić i dr. (2000) objavljuju početne rezultate istraživanja supstitucije smrekove monokulture sjetvom sjemena obične jele na jednom lokalitetu u Gorskom kotaru. Dubravac i dr. (2008) istražuju sukcesijske procese i razvoj strukture u kulturi obične smreke starosti 161 godinu, a Perković i dr. (2007) istražuju pedološki aspekt stvaranja sirovog humusa na području Vrbovca te daju usporedbu stvorenih uvjeta s prirodnom sastojinom.

Kako su istraživanja supstitucije ipak obavljena u okvirima europskih zemalja, tijekom ovoga istraživanja uglavnom su se rabili rezultati iz europske znanstvene literature te su ostvareni kontakti s vodećim europskim znanstvenicima. U Europi je ova problematika obrađena s različitih aspekata, a jedan od najučestalijih jest utvrđivanje stanja kultura te prioriteta supstitucije. Od najvažnijih radova s ovom problematikom izdvajaju se publikacije s međunarodnih konferencija „Monokulture obične smreke u Europi” (Klimo i dr., 2000) te „Konferencije o ekološkim i ekonomskim aspektima povratka prirodne vegetacije nakon kultura obične smreke“ (Hasenauer i dr., 2000). Opsežan pregled problematike supstitucije nalazimo u publikacijama koje su proizvod međunarodnoga projekta CONFOREST (Hansen i dr., 2003 te službena *web*-stranica). Jedan od iscrpnijih pregleda jest i rad Spiekera i dr. (2004), koji čini kompilaciju dotadašnjih radova supstitucije monokultura obične smreke.

Supstitucija monokultura obične smreke podignutih izvan optimalnih uvjeta za njezin rast za većinu je europskih zemalja prioritet u gospodarenju šumama, ali i izazov (Zerbe, 2001; Lüpke i dr., 2004; Mauer i dr., 2008). Teškoće, izdatci i rizici koji prate supstituciju ovakvih kultura u mješovite kulture obične smreke i bjelogoričnih vrsta razlog su velikim ulaganjima europskih zemalja u istraživanja ove problematike. Problematikom šumskouzgojnih zahvata u okvirima supstitucije bavili su se npr. Mosandl, Kazda i Spiecker u Njemačkoj (npr. Ammer i Mosandl, 2007; Spiecker i dr., 2004. a; Kazda i dr., 2005), C. Ammer u Austriji (npr. Ammer i dr., 2008), J. Remeš, J. Novak, E. Klimo, J. Souček, J. Kulhavy i M. Slodičak u Češkoj (npr. Remeš, 2006), J. V. Skovsgaard, Brune, Hahn i Biber u Danskoj (Spiecker i dr., 2004. b). Kazda i Pichler (1998) daju prikaz pripreme staništa za supstituciju metodom sadnje bukve pod zastorom obične smreke, Kazda (2005. b) daje principe odabira staništa za supstituciju, Ammer i Mosandl (2008) nude pregled argumenata i tehnika supstitucije, dok 2007. ispituju razlike između sjetve i sadnje bukovih sadnica pod zastorom krošanja. Remeš (2006) objavljuje način obavljanja dovršnog sijeka kulture smreke, a Slodičak i Novak (2006), uzimajući u obzir prednosti metoda supstitucije izvođenih pod zastorom krošanja starih stabala i nestabilnost smrekovih kultura, osobito nakon otvaranja sklopa, objavljuju rad pod naslovom „Šumskouzgojne mjere povećanja mehaničke stabilnosti čistih sekundarnih sastojina obične smreke prije supstitucije“. Svaki postupak supstitucije znači dugoročno ulaganje te je, kratkoročno gledano teret za ekonomiju šumskog gospodarstva. Unatoč vrijednim iskustvima u mnogim zemljama još uvijek postoji potreba za razvijanjem jednostavnijih i ekonomski učinkovitijih šumskouzgojnih strategija (Lüpke i dr., 2004).

Različiti nazivi u europskim zemljama te različite definicije povezane sa supstitucijom često čine prepreku izmjeni informacija i usporedbi rezultata istraživanja (npr. eng. *conversion, forest transformation, forest restoration, forest ecosystem restoration*). Supstitucija šumskih kultura relativno je nova disciplina te su s time povezani nazivi prolazili kroz različite stadije, sve dok 2004. godine nije postignut dogovor na međunarodnoj razini te objavljen prijedlog usklađenog nazivlja i definicija. Prema međunarodno prihvaćenoj definiciji, supstitucija je promjena kompozicije vrsta i/ili strukture sastojine kroz aktivnosti gospodarenja šumama. Specijalni slučaj supstitucije jest transformacija (eng. *transformation*), a označuje postupnu promjenu kompozicije i/ili strukture sastojine kroz šumskouzgojne aktivnosti (Hasenauer, 2004).

U Republici je Hrvatskoj već dugi niz godina definicija supstitucije dobro poznata, a odnosi se na zamjenu vrste u nekoj sastojini.

S obzirom na to da je u europskoj povijesti smanjenje prirasta kultura obične smreke prvi put primjećeno 1922. godine, austrijsko poglavarstvo u pojedinim je pokrajinama naložilo promjenu čistih smrekovih kultura u čiste ili mješovite kulture autohtonih vrsta bjelogorice (Johann i dr., 2004). Smanjenje prirasta potvrđeno je i u drugim europskim zemljama (npr. Danska, Austrija i Njemačka), iako u znanstvenoj literaturi postoje suprotstavljena mišljenja, pri čemu nije isključeno ni to da je tomu razlog i porijeklo sjemena ili način gospodarenja koji se prije svega odnosi na više uzastopnih ophodnji (Johann i dr., 2004). Prema istom navodu, iako su se izvorno kulture i plantaže obične smreke trebale nakon prve ophodnje zamijeniti mješovitim kulturama autohtonih bjelogoričnih vrsta, ovaj je koncept brzo napušten zbog visokih prirasta i velikoga ekonomskog uspjeha obične smreke. Stoga se i dalje nastavilo s čistim sječama i umjetnom obnovom smreke, iako su se štete od abiotskih i biotskih čimbenika povećavale. U velikome broju supstitucija cilj je stvoriti mješovitu kulturu smreke i ostalih crnogoričnih ili bjelogoričnih vrsta koje su prilagođenije uvjetima staništa. Za razliku od monokultura običnoga bora, gdje se kratkotrajnom supstitucijom mogu potpuno postići bjelogorične sastojine s pomoću prirodne regeneracije, u čistim kulturama obične smreke potrebni su zahvati umjetne obnove (Lüpke i dr., 2004). Jedan od glavnih razloga za unošenje ostalih vrsta jest i sprječavanje guste regeneracija obične smreke koja može dovesti do nove ophodnje kulture ove vrste. Istraživanja su usmjerena prema zamjeni ovakvih monokultura stabilnijim kulturama bjelogoričnih klimatogenih vrsta ili mješovitim kulturama obične smreke i bjelogoričnih vrsta (osobito obične bukve) kojima se zadržava osnovni cilj (proizvodnja drveta), ali se povećava stabilnost prema već navedenim štetnim utjecajima. Postoje i primjeri takve degradacije staništa, gdje je potrebno istražiti zamjenu monokultura obične smreke kulturom pionirskih ili prijelaznih vrsta koje spontano nasele ispitivane površine te im je svrha poboljšati kvalitetu staništa (Brandtberg i dr., 2000). Ova problematika te s njom povezana istraživanja postaju sve složenija ako se u obzir uzmu i klimatske promjene jer one uz promjenu kompozicije vrsta utječu i na stabilnost šuma te na ponore i zalihe dušika i ugljika (Hasenauer i dr., 2004).

Teuffel i dr. (2004) nakon izrade distribucije prirodnih sastojina te kultura obične smreke u Europi zaključuju kako se, s obzirom na supstituciju monokultura, mogu zauzeti jedan od dvaju različitih aspekata:

1. ako kultura obične smreke raste na neprikladnim staništima, ona mora biti potpuno zamijenjena vrstama koje su za to stanište prilagođene;
2. ako se kulture nalaze na staništima koja su prirodno dominirana bjelogoricom, preporučuje se obogaćenje monokultura takvim vrstama kao optimalna šumskouzgojna strategija.

U većini europskih zemalja pitanje udjela čistih sastojina crnogorice koje trebaju biti zamijenjene bjelogoričnim vrstama ovisi o ciljevima šumoposjednika i društva pri danim stanišnim uvjetima, a koji se razlikuju u različitim biogeografskim regijama. Odabir područja, vrsta te metode supstitucije ovise o svemu navedenom (Johann i dr., 2004).

S obzirom na ekološke uvjete staništa, obilježja kulture koja se supstituira te ciljeve samoga zahvata, postoje različiti načini i metode supstitucije. Općenito, s uzgojnoga stajališta supstitucija se može obaviti pod zatorom krošanja stabala kulture koja se želi supstituirati ili nakon potpuna uklanjanja stabala prethodne vrste. Potonji se slučaj događa samo ako je šumska kultura narušene strukture i vitalnosti. Navedene se metode mogu kombinirati i s prirodnom obnovom ako je cilj pretvaranje čiste kulture u mješovitu. S obzirom na specifične uvjete, može se primijeniti i niz različitih metoda pripreme staništa, upotrijebiti različite vrste i starosti šumskoga reproduktivnog materijala i sl. S obzirom na to da su istraživanja supstitucije smrekovih kultura u Hrvatskoj dosada bila slabo zastupljena, ovdje će se dati prikaz europskih načela supstitucije, a to će omogućiti bolje razumijevanje i odabir mogućnosti primjene supstitucije u Hrvatskoj.

### **2.1. Šumskouzgojne strategije i supstitucijske metode**

Najrašireniji cilj pri supstituciji kultura obične smreke u Europi jest mješovita kultura obične smreke i obične bukve u različitim omjerima, iako na mnogim staništima obična smreka može biti bolja od obične bukve glede produktivnosti i vitalnosti. Supstitucija se ovdje obavlja pažljivo kontrolirajući intenzitet svjetla u kulturi, jer je u zasjeni kompeticijska snaga obične bukve veća. Prema Pretzschu (2003), mješovite kulture, iako produktivnije od monokultura, fleksibilnije su prema promjenama uvjeta staništa te se bolje oporavljaju nakon prirodnih poremećaja.

Osim osnovnih strategija supstitucije, razlikuju se i specifični primjeri provođenja ovoga zahvata u pojedinim europskim zemljama koji ovise o konačnom cilju i željama šumoposjednika. Ovo obuhvaća paletu ciljeva od supstitucije smrekovih kultura u kulture potencijalne prirodne

vegetacije do različitih mješovitih kultura obične smreke i željenih vrsta drveća. Odabir sastojinskog oblika kulture ovisi o osnovnoj ulozi koju će buduća kultura ispunjavati, od općekorisnih funkcija koje su većinom zadovoljene supstitucijom u kulture potencijalne prirodne vegetacije do proizvodnje drveta koja se ostvaruje supstitucijom u mješovite kulture obične smreke i bjelogoričnih vrsta, što osigurava kompromis između proizvodnje i stabilnosti.

Šumskouzgojne strategije mogu se grupirati u dvije osnovne skupine:

1. supstitucija prema načelima stalnoga zastora matične sastojine,
2. jednostavna supstitucija (eng. *plain conversion*).

Jednostavna supstitucija označuje čistu sječū, uključujući i sanitarne sjekove nakon oluja, pri čemu sadnja drugih vrsta drveća nakon olujnih nepogoda omogućuje brzu promjenu u mješovite kulture s malim porastom u strukturnoj raznolikosti (Lüpke i dr., 2004). Supstitucija pod zastorom omogućuje postupni prelazak u mješovitu sastojinu s jakim naglaskom na kontinuirani zastor kulture i zaštitu koju stabla obične smreke osiguravaju poniku i pomlatku. Za takvu je supstituciju ključan sljedeći preduvjet: dovoljna stabilnost postojeće kulture obične smreke prema olujama i biotskim štetnicima.

Osnova zahvata supstitucije jest sadnja biljaka i sjetva sjemena, a za uspješno primanje posađenih sadnica korijenje mora biti u mogućnosti proširiti se u nov okoliš (tlo) u relativno kratkom vremenu. Presadnja na teren uključuje značajne promjene u zoni zakorjenjivanja sadnice, pri čemu se dostupnost hraniva smanjuje (u usporedbi s uvjetima u rasadniku), a novi se oblici interakcije, koji mogu biti pozitivni ili negativni na razvoj sadnica, razvijaju između korijena sadnice i mikroorganizama u tlu. Sastav i aktivnost populacije mikroorganizama u tlu, kao i hranidbena obilježja tla usko su povezani s kvalitetom organske tvari i njezinim stupnjem razgradnje, što je osobito naglašeno u smrekovim monokulturama. Kao posljedica toga, postojanje i položaj organske tvari na samome mjestu sadnje te njegovo porijeklo i stanje razgradnje trebali bi se odraziti na razvoj sadnice (Hallsby, 1994). Stoga je to temelj istraživanja ove disertacije. Bolje poznavanje reakcije sadnica na količinu nakupljene organske tvari pružaju mogućnosti popravljivanja postojećih uvjeta staništa različitim tehnikama. Općenito, priprema staništa stvara optimalne uvjete za prihvāt sjemena i preživljenje sadnica tako da omogućuje zakorjenjivanje te prihvāt vode, otklanja korovsku vegetaciju koja oduzima hraniva i vodu mladim biljkama te može popraviti mikroklimu ili kemijske uvjete u tlu. Kazda (2005. a, 2005. b)

ističe pozitivan utjecaj pripreme staništa koji je potvrđen u brojnim studijama supstitucije monokultura obične smreke u kulture bjelogoričnih vrsta drveća.

Priprema staništa za zahvate supstitucije može se obaviti na više načina. Neke su od metoda mehanička obrada, primjena herbicida, primjena kontroliranog izgaranja nerazgrađene organske pokrivke (Jönsson i Bengt, 2004), primjena vapna ili unos bukova listinca kako bi se potaknula mikrobiološka sukcesija. Ipak, u nekim već provedenim istraživanjima u europskim zemljama utvrđeno je kako nisu sve metode ekološki prihvatljive ni učinkovite, pa samim time ni opravdane. Sama mehanička priprema tla obuhvaća nekoliko različitih tehnika (Löf, 2000), a, ako se primijene intenzivnije metode, mehanička obrada tla može kao negativnu posljedicu imati ispiranje hraniva ili oštećenje stabala i korijenja (u slučaju supstitucije pod zastorom krošanja stabala šumske kulture). Također je poznata i primjena vapna ( $\text{CaCO}_3$ ) kojoj je svrha povećanje pH-vrijednosti tla i obogaćivanje ispranih tala mineralima.

## **2.2. Doprinos znanosti**

Rezultati ovog istraživanja doprinos su znanosti s područja uzgajanja šuma. Kako u Republici Hrvatskoj ima malo znanstvenih radova koji se bave istraživanjem supstitucije smrekovih kultura, ovo istraživanje prije svega pruža početne spoznaje o trenutačnoj potrebi i načinima supstitucije te tehnikama pripreme staništa za ovakav zahvat. Istraživanje pruža i praktične smjernice za pošumljavanje običnom smrekom, gospodarenje smrekovim kulturama te smjernice za supstituciju postojećih i budućih kultura. Povećane potrebe za šumskom biomasom osiguravaju kulturama obične smreke važnije mjesto u budućnosti s obzirom na to da smanjuju pritisak na prirodne sastojine. Supstitucijske metode trenutačno nisu dovoljno obrađene te su način i optimalne metode pretvorbe kultura obične smreke još neistraženo područje u gospodarenju i korištenju ovim kulturama u Hrvatskoj.



### **3. ZADATAK I CILJ ISTRAŽIVANJA**

Osnovne hipoteze ovoga istraživanja jesu:

H<sub>1</sub>: šumske kulture obične smreke u Republici Hrvatskoj pri kraju ophodnje mogu se uspješno zamijeniti klimatogenim vrstama drveća

H<sub>2</sub>: stanište u kulturama obične smreke na kraju ophodnje spremno je za prihvatanje klimatogenih vrsta pojedinog pojasa šumske vegetacije, što se očituje u njihovoj spontanoj pojavi

H<sub>3</sub>: na površinama prepuštenima prirodnoj sukcesiji neće biti spontane pojave klimatogenih vrsta u dostatnoj mjeri da se spontano obavi supstitucija bez zahvata sadnje ili sjetve, ali njihova pojava upućuje na ispravan odabir vrsta na pojedinom području istraživanja

H<sub>4</sub>: eventualni negativni uvjeti nakupljanja nerazgrađene organske tvari u monokulturama mogu se ublažiti šumskouzgojnim radovima te ne čine prepreku za preživljenje i uspjeh klimatogene šumske vegetacije. Ovo je moguće ostvariti primjenom mehaničkih metoda pripreme staništa bez dodatnih kemijskih sredstava koja imaju negativan utjecaj na okoliš.

Osnovni ciljevi ovoga istraživanja jesu:

1. ispitati uspjeh osnovnih metoda supstitucije uz smanjenje ekonomskih, socijalnih i ekoloških rizika tijekom procesa pretvorbe;

2. utvrditi strukturne elemente šumskih kultura te procijeniti sposobnost očuvanja sklopa tijekom supstitucije;

3. u kulturama gdje je pozitivan utjecaj zastora stabala izgubljen zbog olujnih nevremena i napada potkornjaka utvrditi može li se supstitucija obaviti klimatogenim vrstama ili je potrebno osnivanje kultura pionirskih ili prijelaznih vrsta koje će popraviti mikroklimatske uvjete;

4. utvrditi postoji li potreba za mehaničkom pripremom nakupljene šumske prostirke za sjetvu i sadnju te, ako postoji, utvrditi optimalne načine. Ispitat će se više vrsta šumskoga reprodukcijanskog materijala;

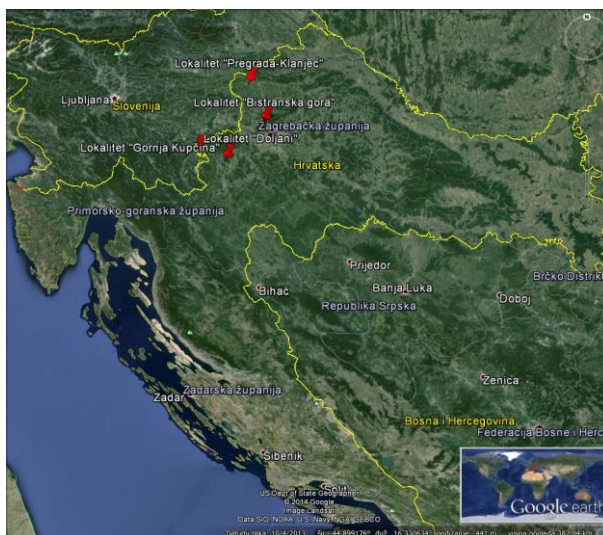
5. utvrditi može li se supstitucija obaviti sjetvom sjemena klimatogenih vrsta koja je ekonomski opravdanija metoda od sadnje sadnica kako pod zastorom, tako i u kulturama u kojima je izgubljen normalan sklop zbog biotskih i abiotskih čimbenika te loše provedenih uzgojnih zahvata.

Ovo istraživanje može osigurati i uvid u pitanja utjecaja kultura obične smreke na šumsku prostirku te površinski sloj mineralnog dijela tla. Praćenjem količine nerazgrađene organske tvari šumske prostirke odgovorit će se na pitanje koji uzgojni zahvati pridonose boljoj razgradnji organske tvari i kruženju hraniva pri supstituciji.

#### **4. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA**

#### 4.1. Općenito

Za potrebe ovoga istraživanja pokusne su plohe postavljene u trima različitim vegetacijskim pojasima (pojasu hrasta kitnjaka, pojasu obične bukve i pojasu obične bukve i obične jele) na području središnje Hrvatske u kulturama obične smreke. Pokusne su plohe postavljene na područjima Uprava šuma podružnica Zagreb i Karlovac. Pokusne plohe na području UŠP-a Zagreb postavljene su na lokalitetima „Bistranska Gora“ (Šumarija Zagreb) i „Pregrada – Klanjec“ (Šumarija Krapina), dok su pokusne plohe na području UŠP-a Karlovac postavljene na lokalitetima „Gornja Kupčina“ (Šumarija Jastrebarsko) te „Doljani“ (Šumarija Ozalj). Položaj svih pokusnih ploha prikazan je na slici 4.1.



**Slika 4.1.** Prostorni razmještaj lokaliteta obuhvaćenih istraživanjem

Za prikaz klime pojedinog područja iskorištena su mjerenja Državnoga hidrometeorološkog zavoda koja su obavljena na najbližim meteorološkim postajama u razdoblju dužem od trideset godina. Naime, prikaz klime određenoga područja mora biti utemeljen na dugoročnom ispitivanju klimatskih parametara. Opći podatci o klimi i reljefu pojedinih gospodarskih jedinica preuzeti su iz osnova gospodarenja.

Lokalitet „Gornja Kupčina“ smješten je u gospodarskoj jedinici „Jastrebarske prigrorske šume“. Ta se gospodarska jedinica nalazi između  $45^{\circ} 37' 30''$  i  $45^{\circ} 42' 10''$  sjeverne geografske širine i  $15^{\circ} 33' 41''$  i  $15^{\circ} 41' 34''$  istočne geografske dužine. Lokalitet na kojemu su osnovane pokusne plohe nalazi se neposredno uz selo Gornja Kupčina, zbog čega je tako i označen.

Gospodarska se jedinica prostire na blagim padinama (117 – 258 m n. v.). Za prikaz klime ovoga područja poslužili su podatci dobiveni istraživanjem Državnoga hidrometeorološkog zavoda na meteorološkoj postaji Jastrebarsko na 138 m n. v. Ova gospodarska jedinica nalazi se na području srednjoeuropskoga klimatskog područja te, prema Köppenu – ovoj klimatskoj razdiobi spada u područje toplo umjerene kišne klime koja se označuje kao C - klima (Cfwbx"). Zime su hladne, ljeta svježja, dok je klima općenito humidna. Srednja se temperatura najhladnijega mjeseca kreće između 18 °C i – 2 °C. Zima je najsuši dio godine (W). Kišno je razdoblje široko rascijepano u proljetni (travanj do lipanj) i jesenski (listopad) maksimum. Srednja godišnja temperatura za ovu meteorološku postaju iznosi 9,8 °C. Najhladniji je mjesec siječanj s –1,1 °C, a najtopliji srpanj s 19,8 °C. Padaline su povoljno raspoređene tijekom cijele godine s iznimkom najveće količine u lipnju (96 mm) i kolovozu (94 mm). U vegetacijskom periodu srednja količina padalina za ovu meteorološku postaju iznosi 87 mm. Na području ove gospodarske jedinice ustanovljen je sljedeći litološki sastav: prapor (les), abichi - pliocen, belvederske naslage, rhomboidea naslage i aluvijalni nanosi. Najzastupljenija su tla pseudoglej – obronačni te distrično smeđe i lesivirano tlo (luvisol). Na ovome su području zastupljene sljedeće šumske zajednice: šuma bukve s velikom mrtvom koprivom (As. *Lamio orvalae* – *Fagetum* /Horvat 1938/ Borhidi 1963), šuma hrasta kitnjaka i običnog graba (As. *Epimedio* – *Carpinetum betuli* /Horvat 1938/ Borhidi 1963), šuma hrasta lužnjaka i običnog graba (tipična subasocijacija), (Subas. *Carpino betuli* – *Quercetum roboris* „*typicum*“ Rauš 1973) i šuma hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom (subasocijacija s drhtavim šašem), (Subas. *Genisto elatae* – *Quercetum roboris caricetosum brizoides* Horvat 1938).

Lokalitet „Pregrada – Klanjec“ smješten je u istoimenoj gospodarskoj jedinici koja se proteže između 45° 57` i 46° 13` sjeverne geografske širine i 15° 37` i 15° 52` istočne geografske dužine (od Greenwicha). Teren je blag do blago strm, s nagibom od 0° do pretežno 20°, tek mjestimično do 45°. Visinske su razlike dosta velike i kreću se od 200 do 520 m n. v. (Kuna Gora). Za ovu su gospodarsku jedinicu najprikladniji podatci klimatskih stanica Kostel 270 m n. v.), Zabok (150 m n. v.) i Varaždin (167 m n. v.). Potpuna definicija klimatskog tipa ovoga područja jest Cfwbx" kao i na prethodnom lokalitetu. Istraživano područje ima humidnu klimu, jer se kreće u granicama P/E 64 do 127. Najveći je porast srednjih mjesečnih temperatura zraka od mjeseca ožujka do travnja i on koleba između 4,8 i 5,9 °C, a najmanje su razlike srednjih vrijednosti ljeti (lipanj, srpanj, kolovoz). Prvi jesenski mrazovi pojavljuju se 5. XI., a kasni

proljetni mrazovi 15. IV. (14. III. do 19. IV.). Godišnja srednja vrijednost relativne vlažnosti zraka iznosi 75 %. Vrijednost relativne vlažnosti zraka prema toplom dijelu godine pada, a prema hladnom raste. U vegetacijskom razdoblju padne 512 mm oborina ili 55 % od ukupne količine te se može zaključiti da vegetacija ni postotno ni količinski ne oskudijeva za potrebnom vodom. Najčešći su vjetrovi kvadranta N te S i SW. Snažni su vjetrovi rijetkost, a orkanski s katastrofalnim štetama vrlo rijetko. Matični je supstrat na području ove gospodarske jedinice raznovrstan, a najveću rasprostranjenost imaju sedimenti trijasa (dolomiti, vapnenci, škriljavci i pješčenjaci). Ovdje nalazimo sljedeće tipove tala: rendzinu, eutrično smeđe tlo, distrično smeđe tlo, ili melizirano ili lesivirano tlo, pseudoglej, močvarno glejno tlo. Sastojine ovoga područja pripadaju panonskom sektoru ilirske provincije, srednjoeuropske vegetacijske regije. Ovdje su prisutne dvije vegetacijske zone: niži položaji pripadaju klimazonalnoj zajednici kitnjaka i običnog graba (sveza *Carpinion betuli illyricum*), a viši klimatskoj zoni bukovih šuma (sveza *Fagion illyricum*).

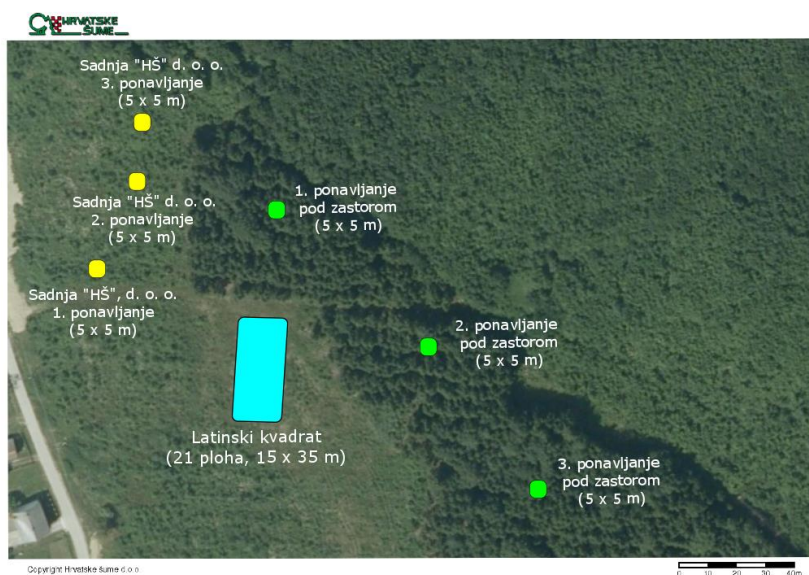
Gospodarska jedinica „Sušica“ na području koje se nalazi lokalitet „Doljani“ (odjel 18 c) prostire se između 15° 16' i 15° 25' 185" istočne geografske dužine te između 45° 41' 30" i 45° 54' 44" sjeverne geografske širine. Pokusne se plohe nalaze u neposrednoj blizini najvišega vrha Žumberačke gore Sv. Gere (1181 m). Ovo je područje proglašeno Parkom prirode, što znači da su u njemu dopuštene djelatnosti i radnje kojima se ne ugrožavaju njegova bitna obilježja i uloge (NN, 30/94). Upravo je to razlog što je istraživanje supstitucije obične smreke, koja ne dolazi od prirode na Žumberačkoj gori, od posebnog interesa za Park prirode. Glavno obilježje ovoga područja jest postojanje manjih i većih vrtača koje su prisutne i na pokusnim plohama. Ova gospodarska jedinica pripada području toplo umjerene kišne klime koja se označava kao C-klima – „Cfsbx“. Područje te gospodarske jedinice razlikuje se po tipu klime od ostalih istraživanih lokaliteta jer ima suho razdoblje ljeti. U samoj Gospodarskoj jedinici nema kišomjerne ni klimatološke stanice, a najbliža klimatološka postaja jest Jastrebarsko, za koju je opis klimatoloških parametara već prikazan. Na području te gospodarske jedinice utvrđeni su sljedeći tipovi tala: lesivirano smeđe tlo, crnica na vapnencu i dolomitima, rendzina, smeđe tlo na dolomitima, kiselo – smeđe – lesivirano tlo na vapnencu i dolomitima s rožnjacima, eutrično smeđe tlo, smeđe na vapnencu i dolomitu i rendzina na krednom flišu. Na području spomenute gospodarske jedinice utvrđeno je pet šumskih zajednica od kojih je najzastupljenija brdska bukova šuma s mrtvom koprivom s udjelom od 69,9 %.

Lokalitet „Bistranska gora” smješten je u istoimenoj gospodarskoj jedinici koja se nalazi na sjeverozapadnim obroncima Medvednice. Svojim najvećim dijelom ta gospodarska jedinica nalazi se u Parku prirode Medvednica koji je proglašen 1981. g. (NN, 24/81). Relativne su visinske razlike jako velike, a razlika iznosi 885 m. Ekspozicije su razne, prevladavaju sjeverne, sjeverozapadne i sjeveroistočne. Prosječni nagib za cijelu jedinicu kreće se u intervalu od 15 do 25° (umjereno strm) do 25 –40° (jako strm). Prema Köppenovoj klasifikaciji, ova gospodarska jedinica pripada tipu Cfbwx" kao i prethodne. Za prikaz klime ovoga područja poslužili su podatci meteoroloških postaja Sljeme i Puntijarka. Srednja temperatura zraka za to područje iznosi 6,2 °C. Apsolutni minimum temperature zraka niže od 0 °C pojavljuje se u razdobljima IX. – XII. i I. – V. mjeseca. Trajanje vegetacijskog razdoblja omeđena temperaturnim pragom sa srednjim dnevnim temperaturama zraka od 10 °C u nižem dijelu gospodarske jedinice, gdje su postavljene pokusne plohe, započinje oko 10. travnja i traje do 19. listopada i iznosi od 192 do 200 dana. Prosječne godišnje vrijednosti relativne vlažnosti zraka kreću se od 77 do 83 %. Godišnja količina padalina iznosi 1249 mm, u vegetacijskom razdoblju 700 mm ili 56 %. Broj je dana s mrazom 28, a dolazi i do temperaturnih inverzija, koje su manje izražene na sjevernoj strani Medvednice nego na južnoj. Na Sljemeni su glavni smjerovi vjetra SE (5 %), te NW –N sa 22,4 % učestalosti. Sljeme ima dvostruku srednju vrijednost jačine vjetra po Beaufortu od okolnoga, nizinskog dijela. Matični supstrat na području gospodarske jedinice sastoji se od staropaleozojskih zelenih škriljevaca koji čine jezgru ove gore, na koji se nadovezuju glineni škriljevci, brusilovac, filit, vapnenac, pješčenjak, lapor, i konglomerati. U fitocenološkom smislu, od podnožja prema glavnom grebenu na Medvednici jasno je izražena tipična klimatska i vegetacijska zonacija sredogorja panonskog dijela Hrvatske; od lužnjakovih, kitnjakovih i različitih tipova bukovih šuma do šuma bukve i jele vršne zone.

#### **4.2. Pokusne plohe na lokalitetu „Gornja Kupčina”**

Pokusne plohe na lokalitetu „Gornja Kupčina” osnovane su u proljeće 2010. godine. Plohe su veličine 5 x 5 m, a svako tretiranje postavljeno je u tri ponavljanja. Prema podacima iz Osnove gospodarenja gospodarskom jedinicom „Gornja Kupčina”, kultura je osnovana kao čista kultura obične smreke. Pokusne plohe sjetve hrasta kitnjaka pod zastorom kulture te izmjere strukturnih parametara kulture postavljene su u odsjeku 11 b, starosti oko 43 godine (slika 4.2.).

U odsjeku su se mjestimično pojavile breza i vrba iva. Kultura se nalazi na nadmorskoj visini od 170 do 175 m, a nastala je sadnjom obične smreke razmaka 1 x 1 m (10 000 sadnica po ha). Pokusne plohe za uzorkovanje šumske prostirke i utvrđivanje strukturnih parametara kulture postavljene su u neposječenom dijelu iste kulture (odsjek 11 b), ali i u kulturi u odsjeku 12 g iste starosti (oko 43 godine, površina odsjeka 1,13 ha, nadmorska visina 145 – 155 m). Na rubovima te kulture ima pojedinačnih stabala topole i trešnje. Za razliku od prethodne kulture, tlo je ovdje izrazito prekriveno mahovinom.



**Slika 4.2.** Položaj pokusnih ploha sjetve hrasta kitnjaka pod zastorom stabala obične smreke, ograđene pokusne plohe nakon čiste sječe (sanitarni sjek, latinski kvadrat) te pokusne plohe sadnje hrasta kitnjaka po metodi „jednostavne supstitucije“ (sanitarni sjek) na lokalitetu „Gornja Kupčina“ koju je obavilo poduzeća „Hrvatske šume“ d. o. o., Zagreb, 2003. godine

S obzirom na izostanak uzgojnih radova prorjede te nestabilnosti kulture obične smreke, od 2003. godine siječe se dio po dio monokulture (uglavnom vjetrolomi i sušci zbog napada potkornjaka). Prva je sadnja obavljena u proljeće 2003. g. nakon sanitarnog sjeka (sječa svih stabala na površini od 1 ha) sadnicama hrasta kitnjaka starosti 2 + 0. Sadnju su obavili djelatnici „Hrvatskih šuma“ d. o. o. s 10 000 sadnica/ha. Točan položaj pokusnih ploha praćenja rasta i prirasta pomlatka hrasta kitnjaka posađenog u proljeće 2003. godine prikazan je na slici 4.2. Na slici su označene i pokusne plohe na kojima je praćena sukcesija prirodne vegetacije na rubu kulture obične smreke (postavljene u trima repeticijsima) te ograđene pokusne plohe na kojima su



obavljene sjetva i sadnja 2010. godine (dolje desno). Na drugoj posjećenju površini djelatnici „Hrvatskih šuma“ d. o. o. obavljaju sadnju u jesen 2006. g., koja je imala loš rezultat (površina 0,64 ha, starost 1 + 0, 10 000 kom./ha, usitnjavanje površinskoga sloja tla i kemijsko tretiranje Herbocorom). Nakon tri godine (u proljeće 2010. godine) osnivaju se pokusne plohe supstitucije za potrebe ovoga istraživanja, a nakon četiri godine kultura je gotovo u potpunosti stradala u olujnom nevremenu. Na slici 4.2. prikazane su i ove ograđene plohe kojima je cilj istraživanje uspjeha sjetve i sadnje hrasta kitnjaka po metodi jednostavne supstitucije.

Sve navedene pokusne plohe jednostavne supstitucije postavljene su u istom odsjeku (11 b), u neposrednoj blizini pokusnih ploha pod zastorom kulture. Te pokusne plohe postavljene su po principu randomiziranog blok-dizajna u trima ponavljanjima. Ukupna površina jednog tretiranja iznosi 75 m<sup>2</sup>, tj. tri ponavljanja po 25 m<sup>2</sup>. U tablici 4.1. prikazane su sve metode i tretiranja koja su istražena na ovome lokalitetu.

Tablica 4.1. Popis metoda, tretiranja i analiziranih parametara na lokalitetu „Gornja Kupčina“

| METODA  | TRETIRANJE   | PONAVLJANJE   | VELIČINA POKUSA                                | ANALIZIRANI PARAMETRI  | MONITORING    |
|---|--|---------------|--|--|---------------|
| Netaknut sklop kulture (bez uzgojnih zahvata)       | Utvrđivanje rizika šumske kulture  | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>      | d 1,30, h, v, vitalnost, koeficijent vitkosti  | 2010.         |
| Čista sječa / sjetva i sadnja žira h. kitnjaka      | Pod motiku / kontrola<br>Pod motiku / usitnjavanje<br>Omaške / kontrola  | 3 ponavljanja | 3 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 225 m <sup>2</sup> | N, vitalnost   | 2011., 2012.  |
| Pod zastorom / sadnja h. kitnjaka                   | Pod motiku / kontrola  | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>      | N, vitalnost   | 2011., 2012.  |
| Čista sječa / sadnja kitnjaka                       | Sadnice golog kor. 2 + 0 / kontrola<br>Sadnice golog kor. 2 + 0 / usitnjavanje<br>Sadnice golog kor. 2 + 0 / humci | 3 ponavljanja | 3 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 225 m <sup>2</sup> | h, d0, ih, id0, vitalnost, osunčanost krošnjica (2010.), pokrovnost korova (2010.), preživljenje | 2010. - 2013. |
| Čista sječa / sadnja kitnjaka                       | "Hrvatske šume" d. o. o., 2003. god.   | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>      | l, h, d 0, ih, id 0, h/l, d 1,30, vitalnost, preživljenje  | 2010. - 2012. |
| Nakon čiste sječe / sukcesija prirodne vegetacije   | 6 i 8 godina nakon potpunog otvaranja sklopa   | 3 ponavljanja | 2 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 150 m <sup>2</sup> | h, d0, omjer smjese  | 1 godina      |
| Na rubovima kulture / sukcesija prirodne vegetacije | 9 godina nakon otvaranja sklopa  | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>      | h, d0, omjer smjese  | 1 godina      |

### 4.3. Pokusne plohe na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“

Pokusne plohe na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“ (Šumarija Krapina, UŠP Zagreb) osnovane su u proljeće 2013. godine u odsjeku 12 b. Naplodni je sjek obavljen 2006. godine, a dovršni sjek 2010. godine. Na površini od 0,5 ha obavljena je sjetva sjemena u količini od 500 kg/ha u jesen 2007. godine. Žir je tretiran fungicidima i insekticidima. Od radova zaštite i njege obavljeno je trovanje glodavaca (mamci) i ručna njega pomlatka uklanjanjem korova. Pokusne su plohe su veličina 5 x 5 m (25 m<sup>2</sup>), a postavljene su u trima ponavljanjima (ukupno 75 m<sup>2</sup>). Prema

podacima iz Osnove gospodarenja gospodarskom jedinicom „Pregrada – Klanjec”, kultura je osnovana kao čista kultura obične smreke. Poduzeće „Hrvatske šume“ d. o. o. Zagreb obavilo je supstituciju sadnjom žira pod zastor stabala obične smreke nakon pojedinačnog sušenja stabala obične smreke. Žir je posijan nakon mehaničkog uklanjanja nerazgrađene organske pokrivke (L i F-horizont prema Novaku i dr., 2010) na površini od 1,5 ha. Žir je posijan omaške ručno zbog postojećih stabala obične smreke. Položaj pokusnih ploha u odsjeku 12 b prikazan je na slici 4.3. Na ovom je lokalitetu obavljeno fitocenološko snimanje šumske vegetacije kako bi se utvrdila potencijalna vegetacija te omogućio pravilan odabir vrsta na pokusnim plohama.



**Slika 4.3.** Prikaz pokusnih ploha na lokalitetu „Pregrada – Klanjec” (tri ponavljanja)

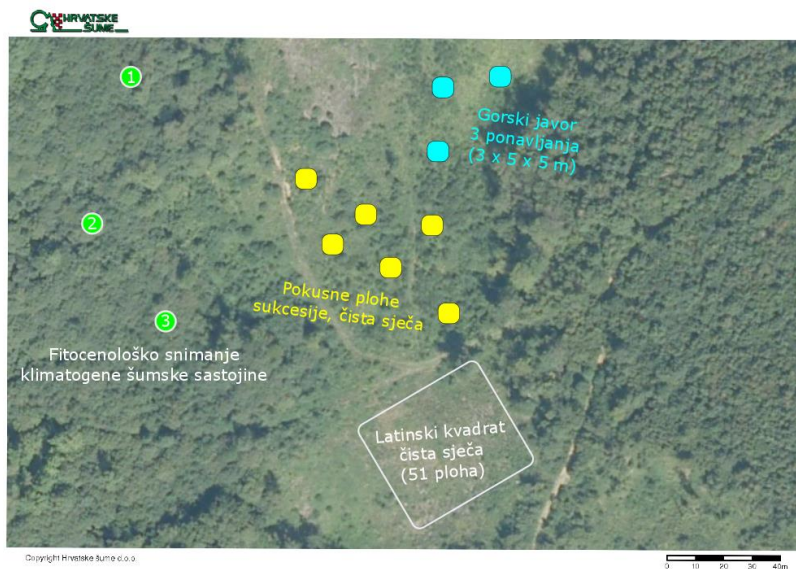
#### 4.4. Pokusne plohe na lokalitetu „Doljani”

Pokusne plohe na lokalitetu „Doljani” osnovane su u proljeće 2010. godine u odsjeku 18 c Gospodarske jedinice „Sušica“. Plohe su veličine 5 x 5 m, a sve metode i tretiranja postavljeni su u trima ponavljanjima po načelima randomiziranog blok-dizajna (tablica 4.2.).

Tablica 4.2. Popis metoda, tretiranja i analiziranih parametara na lokalitetu „Doljani“

| METODA  | TRETIRANJE  | PONAVLJANJE   | VELIČINA POKUSA                                | ANALIZIRANI PARAMETRI                                     | MONITORING    |
|---|---|---------------|--|---|---------------|
| Čista sječa / sadnja žira hrasta kitnjaka         | Pod motiku / kontrola<br>Pod motiku / usitnjavanje<br>Pod motiku / skarifikacija<br>Pod motiku / bukov listinac   | 3 ponavljanja | 4 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup> | N, vitalnost  | 2011., 2012.  |
| Čista sječa / sadnja sjemena obične bukve         | Pod motiku / kontrola<br>Pod motiku / usitnjavanje<br>Pod motiku / skarifikacija<br>Pod motiku / bukov listinac   | 3 ponavljanja | 4 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup> | N, vitalnost  | 2011., 2012.  |
| Čista sječa / sadnja hrasta kitnjaka              | Sadnice golog kor. 2 + 0 / kontrola<br>Sadnice golog kor. 2 + 0 / usitnjavanje<br>Sadnice golog kor. 2 + 0 / skarifikacija<br>Sadnice golog kor. 2 + 0 / bukov listinac                 | 3 ponavljanja | 4 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup> | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje                   | 2010. - 2013. |
| Čista sječa / sadnja obične bukve                 | Sadnice obloženog kor. 1 + 0 / kontrola<br>Sadnice obloženog kor. 1 + 0 / usitnjavanje<br>Sadnice obloženog kor. 1 + 0 / skarifikacija<br>Sadnice obloženog kor. 1 + 0 / bukov listinac | 3 ponavljanja | 4 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup> | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje                   | 2010. - 2013. |
| Čista sječa / sadnja gorskog javora               | "Hrvatske šume" d. o. o., 3. - 5- godina nakon sadje  | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 225 m <sup>2</sup>     | l, h, d 0, ih, id 0, h/l, d 1,30, vitalnost, preživljenje | 2010. - 2012. |
| Nakon čiste sječe / sukcesija prirodne vegetacije | 1, 2, 3, 4, 6 i 14 godina nakon potpunog otvaranja sklopa   | 3 ponavljanja | 4 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup> | h, d0, omjer smjese                                       | 1 godina      |
| Klimatogena sastojina                             | Fitocenološko snimanje  |               |  |   |               |

Prema podacima iz Osnove gospodarenja Gospodarskom jedinicom „Sušica”, kultura je osnovana kao čista kultura obične smreke. Mjestimično se u progalama pojavio pitomi kesten. U razdoblju od 1999. do 2009. godine sanitarnim su sjekom u više navrata posječena sva stabla obične smreke te je na taj način rađena čista sječa parcijalno, po pojedinim površinama. Starost kulture u vrijeme sječe bila je oko 50 godina. Ti su zahvati omogućili postavljanje pokusnih ploha spontanog pridolaska prirodne vegetacije u obliku kronosekvencije, tj. u više starosti na različitim površinama u neposrednoj blizini. U vrijeme posljednje izmjere vegetacije vrijeme nakon čiste sječe na malim površinama iznosilo je 14 godina (posječeno 1999.), 7 godina (2006.) i 4 godine (2009.). Na ovom lokalitetu nakon sječe u zimi 2009./2010. godine osnovane su glavne pokusne plohe nakon ograđivanja i pripremanja staništa za sjetvu i sadnju hrasta kitnjaka i obične bukve. Na ovom su lokalitetu evidentirani i rast i prirast te kvaliteta sastojina gorskog javora koji je nakon sječe posadilo poduzeće "Hrvatske šume" d. o. o., Zagreb ujesen 2007. godine (slika 4.4.). Sadnice su bile gologa korijena, starosti 1 + 0, a proizvedene su u rasadniku Hrvatskoga šumarskog instituta.



**Slika 4.4.** Položaj svih pokusnih ploha na lokalitetu „Doljani”: glavne pokusne plohe na kojima je obavljena sjetva i sadnja u okvirima istraživanja (latinski kvadrat, dolje), pokusne plohe kronosekvencije (sukcesija) te pokusne plohe praćenja uspjeha supstitucije koju je obavilo poduzeće „Hrvatske šume“ d. o. o. (plohe gorskog javora)

Na ovom je lokalitetu obavljeno fitocenološko snimanje šumske vegetacije kako bi se utvrdila potencijalna vegetacija te omogućio pravilan odabir vrsta na pokusnim plohama. Položaj postavljenih fitocenoloških snimaka na ovome lokalitetu te udaljenost od pokusnih ploha sjetve i sadnje prikazani su na slici 4.4.

#### 4.5. Pokusne plohe na lokalitetu „Bistranska Gora”

Pokusne plohe na lokalitetu „Bistranska Gora” osnovane su u proljeće 2010. godine. Položaj pokusnih ploha na tom lokalitetu prikazan je na slici 4.5.



**Slika 4.5.** Položaj pokusnih ploha na lokalitetu „Bistranska gora”

Plohe su veličina 5 x 5 m (jednostavna supstitucija) ili 10 x 10 m (supstitucija pod zastorom krošanja). Položaj pokusnih ploha jednostavne supstitucije te pod zastorom krošanja stabala obične smreke na spomenutom lokalitetu prikazani su na Slici 4.6. U neposrednoj se blizini nalazi prirodna sastojina obične bukve i jele u kojoj su postavljene fitocenološke snimke te uzeti uzorci tla i organske tvari za usporedbu s istraživanom kulturom obične smreke.



**Slika 4.6.** Položaj pokusnih ploha nakon čiste sječe (sanitarni sjek) i pod zastorom krošanja na lokalitetu „Bistranska gora“

Prema podacima iz Osnove gospodarenja Gospodarskom jedinicom „Bistranska gora”, kultura je osnovana kao čista kultura obične smreke, iako je izmjerom strukturnih elemenata

utvrđeno da je riječ o mješovitoj kulturi s običnom jelom (oko 19,4 %) te primjesom stalih vrsta (5,6 %). Sanitarni sjek po principima čiste sječe obavljen je tijekom 2006. godine, a nakon neuspješne supstitucije hrastom kitnjakom koju su obavile „Hrvatske šume“ d. o. o., tijekom zime 2009./2010. godine osnovane su pokusne plohe sadnjom i sjetvom obične bukve (jednostavna supstitucija).

Položaj pokusnih ploha za istraživanje uspjeha supstitucije u progalama kulture obične smreke nalazi se u blizini ostalih pokusnim ploha, a razmještaj pojedinih ponavljanja prikazan je na slici 4.7.



**Slika 4.7.** Položaj pokusnih ploha na lokalitetu „Bistranska gora” na kojima je obavljena sadnja u progalama te praćen uspjeh pomlatka obične bukve (tri repeticije veličina 25 m<sup>2</sup>)

Na površini u neposrednoj blizini pokusnih ploha jednostavne supstitucije obavljene su izmjera te doznaka stabala (iste je zime obavljena i nadoznaka) u kulturi obične smreke za istraživanje metode supstitucije pod zastorom krošanja. Doznaka je provedena po principima naplodboga sjeka. Kultura obične smreke bila je jednoetažna, što znači da nije bilo podstojne etaže koja bi štitila sadnice te biljke iz sjemena. To je uzeto u obzir pri doznaci stabala. Ukupno su primijenjene tri osnovne metode supstitucije: pod zastorom krošanja, nakon čistog sjeka te sadnja u progale nastale sušenjem koje je uzrokovao potkornjak (tablica 4.3.).

Tablica 4.3. Popis metoda, tretiranja i analiziranih parametara na lokalitetu „Bistranska gora“

| METODA   | TRETIRANJE  | PONAVLJANJE   | VELIČINA POKUSA                                      | ANALIZIRANI PARAMETRI                       | MONITORING      |
|--|---|---------------|--|---|-----------------|
| Utvrđivanje rizika šumske kulture                      | Netaknut sklop kulture  | 3 ponavljanja | 3 x 100 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup>          | l, h, d 0, ih, id 0, h/l, d 1,30, vitalnost | 1 godina        |
| Pod zastorom / sadnja sjemena obične bukve             | Sadnja bukvice na reduciranoj površini na krpe / kontrola           | 3 ponavljanja | 2 x 3 x 100 m <sup>2</sup> = 600 m <sup>2</sup>      | N, h, d0, vitalnost                         | 2011. - 2013.   |
| Pod zastorom / sadnja sjemena obične jele              | Sadnja sjemena na reduciranoj površini na krpe / skarifikacija      | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>            | N, vitalnost                                | 2011. - 2013.   |
| Pod zastorom / sadnja sjemena obične jele              | Sadnja sjemena na reduciranoj površini na krpe / kontrola           | 3 ponavljanja | 3 x 100 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup>          | N, vitalnost                                | 2011. - 2013.   |
| Pod zastorom / sadnja obične bukve                     | Sadnice obloženog kor. 1 + 0 / kontrola                             | 3 ponavljanja | 3 x 100 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup>          | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje     | 2010. - 2013.   |
| Pod zastorom / sadnja obične bukve                     | Sadnice golog kor. 2 + 0 / kontrola                                 | 3 ponavljanja | 3 x 100 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup>          | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje     | 2011. - 2013.   |
| Pod zastorom / sadnja obične jele                      | Sadnice goli kor. 1 + 0 / kontrola                                  | 3 ponavljanja | 3 x 100 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup>          | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje     | 2010. - 2011.   |
| Pod zastorom / sadnja obične jele                      | Sadnice goli kor. 3 + 0 / kontrola                                  | 3 ponavljanja | 3 x 100 m <sup>2</sup> = 300 m <sup>2</sup>          | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje     | 2011. - 2013.   |
| Progale / sadnja obične bukve                          | Sadnice obloženog kor. 1 + 0<br>Sadnice golog kor. 1 + 0 / kontrola | 3 ponavljanja | 2 x 3 x 25 m <sup>2</sup> = 150 m <sup>2</sup>       | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje     | 2011. - 2013.   |
| Čista sječa / sjetva obične bukve                      | Sadnja bukvice na reduciranoj površini na krpe / kontrola           | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>            | N, h, ih, d0, vitalnost                     | 2011. - 2013.   |
| Čista sječa / sadnja obične bukve                      | Sadnice obloženog kor. 1 + 0 / kontrola                             | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>            | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje     | 2010. - 2013.   |
| Čista sječa / sadnja obične bukve                      | Sadnice golog kor. 2 + 0 / kontrola                                 | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>            | h, d0, ih, id0, vitalnost, preživljenje     | 2010. - 2013.   |
| Pod zastorom / otvaranje sklopa naplođnim sijekom      | Svjetlosni uvjeti   | 3 ponavljanja | 14 ploha x 100 m <sup>2</sup> = 1 400 m <sup>2</sup> | Izravno, difuzno i ukupno svjetlo           | 2011., 2013. g. |
| Nakon naplođnog sijeka / sukcesija prirodne vegetacije | 3 godine nakon otvaranja sklopa                                     | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>            | h, d0, omjer smjese                         | 1 godina        |
| Nakon čiste sječe / sukcesija prirodne vegetacije      | 4 godine nakon potpunog otvaranja sklopa                            | 3 ponavljanja | 3 x 25 m <sup>2</sup> = 75 m <sup>2</sup>            | h, d0, omjer smjese                         | 1 godina        |
| Klimatogena sastojina                                  | Fitocenološko snimanje  |               |  |   |                 |

## 5. MATERIJALI I METODE



### 5.1. Odabrane supstitucijske metode

Tijekom 2008. i 2009. godine obavljeno je rekognosciranje terena na područjima na kojima je, prema podacima Šumskogospodarske osnove područja i osnova gospodarenja pojedinim gospodarskim jedinicama, utvrđeno postojanje kultura obične smreke. Nakon rekognosciranja terena odabrano je više lokaliteta za postavljanje pokusnih ploha različite namjene. Sve postavljene pokusne plohe poslužile su praćenju uspjeha različitih supstitucijskih metoda, ali i njihova utjecaja na količinu nerazgrađene organske tvari kao jednog od presudnog utjecaja kultura obične smreke na stanište. Jedan dio pokusnih ploha postavljen je kako bi se utvrdili sukcesivni procesi prirodne vegetacije drveća i grmlja pod zastorom krošanja smrekovih stabala (otvaranje sklopa naplodnim sijekom), nakon sanitarnog sijeka kulture smreke te u progalama i na samim rubovima sastojina. Istraživanje sukcesivnih procesa prirodne vegetacije obavljeno je na svim odabranim lokalitetima. Pojedine supstitucijske metode po lokalitetima prikazane su u tablici 5.1. Svaka je ploha georeferencirana te su izrađeni kartografski prikazi.

**Tablica 5.1.** Popis odabranih supstitucijskih metoda kultura obične smreke

| UŠP      | Šumarija     | Lokalitet           | Metoda obuhvaćena istraživanjem:   |
|----------|--------------|---------------------|--|
| Zagreb   | Krapina      | Pregrada<br>Klanjec | sjetva pod zastorom krošanja   |
| Karlovac | Jastrebarsko | Gornja Kupčina      | sjetva pod zastorom<br>sjetva / sadnja po principima jednostavne supstitucije  |
| Karlovac | Ozalj        | Doljani             | sjetva / sadnja po principima jednostavne supstitucije   |
| Zagreb   | Zagreb       | Bistranska gora     | sjetva / sadnja pod zastorom, obavljen naplodni sijek<br>sadjna na progalama<br>sjetva / sadnja po principima jednostavne supstitucije |

### 5.2. Procjena parametara stabilnosti kulture kao preduvjet za pravilan odabir metoda supstitucije

Prije otvaranja sklopa, kulture obične smreke detaljno su premjerene kako bi se utvrdila njihova podložnost štetama od klimatskih poremećaja (olujna nevremena, štete od snijega) te moguća reakcija kultura na otvaranje sklopa naplodnim sijekom. Mjereni su visina i promjer stabala na temelju kojih su izračunani volumen (V), temeljnica (G), broj stabala po hektaru (N),

odnos visine i promjera stabala te omjer vrsta u smjesi. Za izračunavanje volumena uporabljene su Tablice drvnih masa smreke (Špiranec, 1976). Podatci su sakupljeni na lokalitetima „Bistranska gora” i „Gornja Kupčina”, dok je na lokalitetima „Doljani” i „Pregrada – Klanjec” sječu obavilo poduzeće „Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb, prije izmjere. Na lokalitetu „Bistranska gora” parametri su upućivali na dobru stabilnost te su obavljene doznaka i sječa prema principima naprodnoga sijeka. S obzirom na to da je tijekom istraživačkog razdoblja uočena pojava sušaca, tijekom 2013. g. utvrđena je i vitalnost stabala u dva stupnja (1 – zdravo, 2 – suho). Na lokalitetu „Gornja Kupčina” sklop nije prorijeđen jer su faktori stabilnosti bili iznimno nepovoljni. Na lokalitetu „Doljani” obavljen je sanitarni sijek koji je imao karakter čiste sječe na malim površinama, a na lokalitetu „Pregrada – Klanjec” redoviti dovršni sijek.

Nakon odabira lokaliteta pripremljen je detaljan plan postavljanja pokusnih ploha, od odabira ciljanih metoda, dizajna pokusa, proračuna potrebnih količina šumskoga reprodukcijuskog materijala (sjeme i sadnice po pojedinim vrstama drveća i načinu uzgoja) do laboratorijskog ispitivanja, predsjedvene pripreme sjemena te uzorkovanja tla i nerazgrađene organske tvari.

### **5.3. Uzorkovanje i analiza nerazgrađene organske tvari u šumskoj prostirci**

Uzorci nerazgrađene organske tvari u šumskoj prostirci (O - i, O - e, O - a ili L -, F - i H - horizont prema Novaku i dr., 2010) prikupljeni su radi utvrđivanja količine te brzine razgradnje nerastvorene organske pokrivke. Uzorci su prikupljeni na lokalitetima na kojima su postavljene pokusne plohe sjetve i sadnje sadnica („Bistranska gora“, „Doljani“, „Gornja Kupčina“). Uzorci su sakupljeni u kulturama obične smreke na početku i na kraju istraživanja 2010. godine te potkraj 2012. godine nakon obavljenih šumskouzgojnih zahvata. Krajem 2012. godine također su sakupljeni uzorci za usporedbu u monokulturi obične smreke u kojoj nisu obavljani zahvati te u mješovitoj sastojini obične bukve i obične jele na lokalitetu „Bistranska gora“. Takvi uzorci na lokalitetima „Gornja Kupčina“ i „Doljani“ nisu se mogli prikupiti, jer u neposrednoj blizini (pod sličnim klimatskim uvjetima) nema odgovarajućih autohtonih sastojina prikladnih za usporedbu. Pokusne plohe na lokalitetu „Gornja Kupčina“ u neposrednoj su blizini naselja.

Uzorci su uzimani s pomoću drvenog okvira dimenzija 50 x 50 cm, a u uzorak se sakupljala nerastvorena organska tvar, tj. iglice i grančice do 5 mm promjera. Organska je tvar sakupljena rukom kako ne bi došlo do miješanja organskih slojeva u uzorku. Okvir poznate površine (0,25

m<sup>2</sup>) poslužio je kako bi se preračunala količina organske tvari pojedinih slojeva po hektaru te bila usporediva s recentnom znanstvenom literaturom. Okvir je upotrebljavan kako je prikazano na slici 5.1. Ovakva metoda uzorkovanja česta je pri utvrđivanju količine nerazgrađene organske tvari (npr. Berger i Hager, 2000; Berger i dr., 2000; Novak i Slodičak, 2004, 2005; Torsten i dr., 2004; Perković i dr., 2007; Fabianek i dr., 2009).

Ovo je istraživanje uglavnom usmjereno na nerazgrađenu organsku tvar te je glavna uzoraka obuhvaćala L-horizont. Uzorci ostalih horizonata uzeti su samo kako bi se utvrdila ukupna količina te su se zbog teškog odjeljivanja L i F-sloj uzorkovali zajedno (djelomično nerazgrađene iglice i potpuno razgrađeni sloj). Pokusne plohe koje su bile potpuno prekrivene mahovinom zasebno su evidentirane te je mahovina uzeta u uzorak jer ima ograničavajući učinak na sjetvu. Analiza uzoraka nerastvorene organske tvari obuhvaća: sušenje, vaganje, dušik (N, g/kg), ugljik (C, g/kg). Određivanje mase lišća/iglica obavljeno je prema ICP metodologiji (*ICP Forests Manual: Sampling and Analyses of leaves and needles*, 2000.). Određivanje ukupnog dušika i ugljika u uzorcima biljnog materijala obavljeno je na elementarnom analizatoru CNS 2000 (*LECO corporation USA: Organic application note form No. 203 – 821 – 172, Carbon, Nitrogen and Sulfur in Plant Tissue*, 2000. i *Leco corporation USA: CNS - 2000 Instruction Manual, St. Joseph*, 2002).



**Slika 5.1.** Uzorkovanje šumske prostirke u monokulturi obične smreke s pomoću okvira površine 0,25 m<sup>2</sup> (lokalitet „Gornja Kupčina“, 2012. godina)

Laboratorijska analiza uzoraka prikupljenih na cjelokupnom istraživanom području obavljena je u razdoblju od 2010. do 2013 godine. Zakorovljenje pokusnih ploha nakon sanitarnog sijeka obične smreke bilo je toliko da se nisu mogli uzeti uzorci nerazgrađene organske tvari pri kraju istraživanja (2012. i 2013. godine). Naime, pregledom površine utvrđeno

je da je tijekom triju godina istraživanja došlo do potpunog nestanka nerazgrađenoga sloja iglica na kojemu su tijekom 2010. uzeti uzorci. Također, površine su potpuno bile zakorovljene.

#### 5.4. Uzorkovanje i analiza tla

Za potrebe ovoga istraživanja sakupljeni su kompozitni uzorci tla na linearnom transektu latinskog kvadrata na svim pokusnim plohama (dijagonalni raspored uzorkovanja). Takvi uzorci čine nesustavne statističke uzorke (Pernar i dr., 2013). Uzorci su uzimani na dubinama od 0 do 15 i od 15 do 30 cm, a prikupljeni su na svim lokalitetima na kojima su postavljene pokusne plohe („Bistranska gora“, „Doljani“, „Gornja kupčina“). Uzorci su prikupljeni u kulturama obične smreke početkom 2010. godine te potkraj 2012. godine. Dubina do 30 cm odabrana je s obzirom na to da je to aktivna zona zakorjenjivanja sadnica te ima presudan utjecaj na uspjeh sadnica i biljaka iz sjemena. Analiza uzoraka obavljena je u Laboratoriju za fizikalno-kemijska ispitivanja Hrvatskoga šumarskog instituta te obuhvaća utvrđivanje sljedećih parametara: pH u vodi i KCl, C, N, humus i odnos C/N. Svi su uzorci pripremljeni za analizu, osušeni, izvagani te svi analizirani u spomenutom laboratoriju. Uzorcima je još utvrđen i mehanički sastav jer je to obilježje koje ima znatan utjecaj na uspjeh sadnje i sjetve biljaka, a osobito utječe na šok biljaka nakon presađnje. Priprema uzorka za analizu makroelemenata obavljena je na način kako preporučuje Škorić (1973). pH-vrijednost u H<sub>2</sub>O i n-KCl utvrđena je prema ISO metodologiji (*ISO 10390, 1995: Soil Quality – Determination of pH*). Određivanje ukupnog dušika i ugljika obavljeno je na elementarnom analizatoru CNS 2000 (*ISO 13878, 1995: Soil Quality – Determination of total nitrogen content by dry combustion /"elemental analysis"/*). Sadržaj humusa utvrđen je po Tjurinu (Škorić, 1973), a tekstura tla na način kako preporučuje Škorić (1973).

#### 5.5. Priprema staništa kao preduvjet za osnivanje pokusnih ploha

Pri postavljanju ploha predviđenih za sjetvu sjemena i sadnju sadnica klimatogenih vrsta drveća postavljena je žičana ograda visine 1,30 m kako bi se spriječile štete od divljači (slika 10.). Ograđivanje je obavljeno na temelju prethodnog uvida u štete od divljači u obližnjim

prirodnim sastojinama te detaljnoga planiranja i izračuna potrebnih materijala (količina potrebnih kolčića za označivanje pokusnih ploha, stupova, mreže, radnika te strojeva).



**Slika 5.1.** Ograđivanje pokusnih ploha (jednostavna supstitucija) na lokalitetu „Gornja Kupčina” tijekom osnivanja pokusnih ploha

U kulturama obične smreke obavljene su čiste sječe na malim površinama koje su imale obilježja sanitarne sječe zbog sušenja smrekovih stabala. Sječe su obavljene tijekom 2006. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina”, u studenome 2009. na lokalitetu „Doljani” te u studenome 2008. na lokalitetu „Bistranska gora”. Kako je na lokalitetu „Bistranska gora” čista sječa obavljena jedan vegetacijski period prije sjetve/sadnje (sječa 2008. godine), što je stvorilo svjetlosne uvjete za razvoj korovske vegetacije, nakon ograđivanja pokusnih ploha primijenjeno je kemijsko uništavanje korova glifosatom (3 %). U ožujku 2010. godine na lokalitetu „Bistranska gora” obavljene su doznaka, izmjera i sječa stabala po principima napludnoga sijeka za potrebe ispitivanja metoda sjetve i sadnje pod zastorom krošanja. U trenutku doznake nisu zabilježena sušenja stabala obične smreke na ovim pokusnim plohama.

Nakon doznake stabala, sječe i izvlačenja drvnih sortimenata uspostavljen je šumski red te je pripremljeno stanište za sjetvu i sadnju (slika 5.1.). Primijenjene su (različite) mehaničke metode pripreme staništa koje odgovaraju odabranoj metodi supstitucije (čisti sijek ili pod zastorom). Kemijske metode nisu ispitivane jer su ekološki neprihvatljive za stanište. Mehaničke

metode pripreme staništa primijenjene su na lokalitetima „Gornja Kupčina”, gdje je ispitano usitnjavanje te postavljena kontrolna metoda za usporedbu. Na lokalitetu „Doljani” postavljene su metode: kontrola, listinac pri sadnji te kontrola, usitnjavanje, listinac i uklanjanje gornjega nerazrađenog sloja iglica (skarificiranje) kod sjetve sjemena.



**Slika 5.3.** Pokusna ploha na lokalitetu „Doljani“ (Šumarija Ozalj) u vrijeme osnivanja u proljeće 2010. godine (slika lijevo) i tri godine nakon osnivanja u ljeto 2013. godine (slika desno)

Prije zahvata sadnje i sjetve obavljene su i ostale predradnje potrebne prije umjetne obnove (Matić 1996). Stoga sječa prekobrojnoga podrasta i grmlja nije bila potrebna jer na pokusnim plohama nije bilo grmlja (osim na lokalitetu „Gornja Kupčina”). Čišćenje tla od drvenaste korovne vegetacije nije bilo potrebno, osim na lokalitetu „Gornja Kupčina”, gdje je čišćenje obavljeno upotrebom mehanizacije (pokusne plohe usitnjavanja šumske prostirke) te ručno na kontrolnim plohama. Rahljenje zbijenoga tla te tla s nagomilanom organskom tvari također je ispitano, i to na reduciranim površinama, tj. površini sadnje žira i bukvice ili sjetve (krpe) kako se rahljenjem ne bi potaknuo rast korova. Površinska odvodnja zamočvarenoga tla kopanjem kanala „sisavaca” nije nigdje primijenjena jer u trenutku osnivanja tlo nije bilo zamočvareno. Ipak, primijećeno je povećanje razine vode jednog dijela pokusa osnovanog po principu latinskog kvadrata (tri pokusne plohe) na lokalitetu „Gornja Kupčina”, zbog čega su se sadnice neznatno izdigle iz razine vode (humci). Zaštita od glodavaca tijekom istraživanja nije obavljena ni na jednom lokalitetu jer je tijekom osnivanja pokusnih ploha (2010. godine) bilo zabranjeno kemijsko trovanje glodavaca. Izlov glodavaca nije bilo moguće obaviti zbog velikoga prostornog rasporeda ploha.

### 5.6. Odabir vrsta drveća za osnivanje pokusnih ploha

Pravilan odabir vrsta ovisi o visinskom pojasu prirodne šumske vegetacije u kojemu se pojedine pokusne plohe nalaze te o samome staništu. Stanište se može opisati utvrđivanjem šumskih zajednica u neposrednoj blizini šumske kulture predviđene za supstituciju. Stoga je kao predradnja odabiru vrsta prethodilo postavljanje fitocenoloških snimaka na svim istraživanim lokalitetima. Utvrđena su tri moguća šumskovegetacijska pojasa predočena lokalitetima:

1. pojas hrasta kitnjaka – lokaliteti „Gornja Kupčina” i „Pregrada – Klanjec”,
2. pojas obične bukve – lokalitet „Doljani”,
3. pojas obične bukve i obične jele – lokalitet „Bistranska gora”.

Utvrđene šumske zajednice okolnoga područja, dobivene na temelju postavljenih fitocenoloških snimaka na pokusnim plohama i u okolnim šumskim zajednicama, poslužile su kao osnovica za utvrđivanje ciljanih klimatogenih vrsta. Sukladno navedenim ciljanim klimatogenim šumskim zajednicama odabrane su vrste hrast kitnjak (*Quercus petrea* (Matt.) Liebl.), obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) i obična jela (*Abies alba* Mill.) (tablica 5.2.).

**Tablica 5.2.** Popis lokaliteta i odabranih vrsta na kojima su osnovane pokusne plohe supstitucije kultura obične smreke

| UŠP      | Šumarija     | Lokalitet        | Vrste i metode obuhvaćene istraživanjem:   |
|----------|--------------|------------------|--|
| Zagreb   | Krapina      | Pregrada-Klanjec | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. – sadnja „pod motiku”   |
| Karlovac | Jastrebarsko | Gornja Kupčina   | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. – sadnja sadnica, sadnja „pod motiku”, sjetva „omaške”  |
| Karlovac | Ozalj        | Doljani          | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl., <i>Fagus sylvatica</i> L. - sadnja sadnica, sadnja „pod motiku”<br><i>Acer pseudoplatanus</i> L. – sadnja sadnica                      |
| Zagreb   | Zagreb       | Bistranska gora  | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. – sadnja sadnica<br><i>Fagus sylvatica</i> L., <i>Abies alba</i> Mill. – sadnja sadnica, sadnja sjemena na reduciranoj površini na krpe |

### 5.7. Nabava i sadnja šumskih sadnica

Nakon utvrđivanja ciljanih klimatogenih vrsta pristupilo se nabavi šumskoga reprodukcijskog materijala. Šumske su sadnice dopremljene na pojedine lokalitete u plastičnim vrećama. Sadnice golog korijena posađene su isti dan kako bi se spriječilo dodatno isušivanje korijena te izbjeglo njihovo trpljenje, a neposredno prije sadnje namakale su se u posude sa smjesom vode i zemlje. Sadnice su posađene u proljeće 2010. godine. Ako je bilo potrebno, sadnicama je prije sadnje podrezan korijen. Radi ispitivanja uspjeha (preživljenja, rasta i prirasta) različitih tipova sadnica nabavljen je sadni materijal različitih starosti i načina uzgoja (sadnice golog i obloženog korijena uzgojenih u Bosnaplast kontejnerima). U tablici 5.3. prikazani su tipovi i starost sadnica prema pojedinoj vrsti drveća zastupljenoj u istraživanju.

**Tablica 5.3.** Prikaz sadnog materijala prema starostima, tipu uzgoja i vrsti uporabljenoga u istraživanju

| Vrsta         | Goli korijen        | Obloženi korijen |
|---------------|---------------------|------------------|
| hrast kitnjak | 2 + 0               | -                |
| obična bukva  | 1 + 0, 2 + 0        | 1 + 0            |
| obična jela   | 1 + 0, 3 + 0, 4 + 0 | -                |

U istraživanju je obavljena sadnja biljaka golog korijena u jame te sadnja biljaka s obloženim korijenom (kontejnerske sadnice) u jame ručno (Matić, 1996). Veličina sadnih jama odabrana je prema veličini sadnica i tipu šumskoga reprodukcijskog materijala. Prikaz vrsta i količina sadnica po lokalitetima primijenjenih u istraživanju prikazan je u tablici 5.4. Pokusne plohe uoči sjetve i sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina” prikazane su na slici 5.4.





Slika 5.4. Pokusne plohe uoči sjetve i sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Tablica 5.4. Prikaz vrsta i količina sadnica po lokalitetima primijenjenih u istraživanju

| Lokalitet       | Vrsta obuhvaćena istraživanjem       | Metoda        | Količina sadnica |
|-----------------|--------------------------------------|---------------|------------------|
| Gornja Kupčina  | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. | sadnja u jame | 10 000 kom./ha   |
| Doljani         | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. | sadnja u jame | 10 000 kom./ha   |
| Doljani         | <i>Fagus sylvatica</i> L.            | sadnja u jame | 10 000 kom./ha   |
| Doljani         | <i>Acer pseudoplatanus</i> L.        | sadnja u jame | 10 000 kom./ha   |
| Bistranska gora | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. | sadnja u jame | 10 000 kom./ha   |
| Bistranska gora | <i>Fagus sylvatica</i> L.            | sadnja u jame | 10 000 kom./ha   |
| Bistranska gora | <i>Abies alba</i> Mill.              | sadnja u jame | 10 000 kom./ha   |

### 5.8. Ispitivanje kvalitete, predsjetvena priprema šumskoga sjemena i sjetva

Sjeme odabranih vrsta šumskoga drveća (hrast kitnjak, obična bukva i obična jela) testirano je početkom 2010. godine te ujesen iste godine na Zavodu za šumsku genetiku, oplemenjivanje šumskog drveća i sjemenarstvo pri Hrvatskom šumarskom institutu. Testirani su: **čistoća sjemena** (International Rules for Seed Testing – ISTA, Chapter 3: The Purity Analysis, ISBN 3 –

906549 – 38 - 0), **klijavost sjemena** (International Rules for Seed Testing – ISTA, Chapter 5: The Germination Test, ISBN 3 – 906549 – 38 - 0, Table 5A, Part 2. Tree and shrub seeds), **upotrebnost vrijednost, broj klijavih/vitalnih sjemenaka/kg, sadržaj vlage** (International Rules for Seed Testing Chapter 9: Moisture Content, ISBN 3 – 906549 – 38 - 0), **masa 1000 sjemenaka** (International Rules for Seed Testing, Chapter 10: Weight Determination, ISBN 3 – 906549 – 38 - 0) i **zdravstveno stanje sjemena**. Sjeme je čuvano u hladnjači rasadnika Hrvatskoga šumarskog instituta od sakupljanja do sjetve. Sve sjeme uporabljeno u istraživanju posjeduje Glavnu svjedodžbu o istovjetnosti šumskog reprodukcijanskog materijala iz šumskih i sjemenskih sastojina. Porijeklo sjemena obične jele je G. j. Miletka (17 b, sjemenska sastojina SS – II - 437/1987) s područja UŠP-a Delnice. Žir hrasta kitnjaka sakupljen je s područja UŠP-a Zagreb, šumarije Velika Gorica, G. j. Šiljakovačka Dubrava II (101a, b, 106 b, c, 177 a) te šumarije Novoselec G. j. Marča (11 a). Bukvica je porijeklom iz G. j. Novigradska Planina (44 a, SS – II - 574/2001.).

Prije sjetve obične bukve i obične jele obavljena je predstetvena priprema sjemena hladno-vlažnim postupkom (stratifikacija) u trajanju od 40 dana. Sadnja bukvice i sjemena obične jele na lokalitetu „Bistranska gora“ obavljena je po principu reducirane površine na krpe pojedinih potploha veličine 0,5 x 0,5 m, tj. 0,25 m<sup>2</sup> (Matić 1996). Načini sjetve i sadnje sjemena prikazani su u tablici 5.1. Sjeme je pokriveno gornjim slojem tla (organski horizont) koji je ručno razrahljen, debljine oko 1 – 3 cm ovisno o vrsti. Na pokusnim plohama skarifikacije potpuno je uklonjen nerazgrađeni dio iglica mehaničkim struganjem, ručno, tradicionalnim alatima. Iznimka su pokusne plohe na lokalitetu „Gornja Kupčina“, gdje je skarifikacija obavljena strojno. Ujesen 2010. godine nakon relativno slabog uspjeha prve sjetve na pokusnim plohama čiste sječe na svim lokalitetima, obavljena je kemijska priprema staništa (suzbijanje korovske vegetacije primjenom glifosata „Cidokor“, 3 %-tna otopina, slika 5.5.) te je sjetva ponovljena. Ručna priprema staništa uklanjanjem predrasta i grmlja nepoželjnih vrsta nije bila potrebna jer ih u kulturama smreke nije niti bilo.



**Slika 5.5.** Pokusne plohe na lokalitetu „Gornja Kupčina” nakon primjene herbicida i netretirane plohe u proljeće 2011. godine

Pri odabiru potrebnih količina sjemena upotrebljavale su se količine iz istraživanja Matića (1994). Ipak, okvirne su se količine morale korigirati s uporabnom vrijednosti sjemena (klijavost i čistoća sjemena) kako bi se dobila stvarna količina sjemena koja će se posijati na pokusnim plohama (tablica 5.5.), (Gradečki i Poštenjak, 2001). Prilikom utvrđivanja količine sjemena obične bukve i obične jele na reduciranoj površini cilj je bio proizvodnja većega broja biljaka po hektaru zbog slabog preživljenja biljaka u prirodnim uvjetima.

**Tablica 5.5.** Količine sjemena prema istraživanim šumskim vrsta primijenjene u istraživanju na svim lokalitetima

| Lokalitet          | Vrsta obuhvaćena istraživanjem       | Metoda                                 | Uporabna vrijednost sjemena        | Upotrijebljena količina sjemena |
|--------------------|--------------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|
| Pregrada – Klanjec | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. | sjetva „omaške”                        | -                                  | 500 kg/ha                       |
| Gornja Kupčina     | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. | sadnja „pod motiku”                    | 51 %                               | 6 komada po jamici              |
| Gornja Kupčina     | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. | sjetva „omaške”                        | 51 %                               | 1000 kg/ha                      |
| Doljani            | <i>Quercus petrea</i> (Matt.) Liebl. | sadnja „pod motiku”                    | 51 %                               | 6 komada po jamici              |
| Doljani            | <i>Fagus sylvatica</i> L.            | sadnja „pod motiku”                    | 40 %                               | 5 komada po jamici              |
| Bistranska gora    | <i>Fagus sylvatica</i> L.            | sadnja na reduciranoj površini na krpe | 40 %                               | 8 komada (3,5 g) po krpi        |
| Bistranska gora    | <i>Abies alba</i> Mill.              | sadnja na reduciranoj površini na krpe | 1. sjetva: 35 %<br>2. sjetva: 24 % | 3,5 g po krpi                   |

### 5.9. Održavanje pokusnih ploha te zaštita i njega ponika i pomlatka

Kontinuirano od osnivanja pokusnih ploha (proljeće 2010. godine) do završetka istraživanja (2013. godine) obavljena je redovita njega svih biljaka u pokusu. Njega je obuhvaćala zaštitu mlade sastojine od korova koja je nužna pri svakog zahvatu prirodne ili umjetne obnove, a osigurava prije svega preživljenje te veći prirast i optimalnu kvalitetu pomlatka (Matić, 1996). Njega je obavljena ručno tradicionalnim alatima (srpovima i kosirima), svake godine, a najmanje dvaput u vegetacijskom razdoblju (slika 5.6.). Zaštita pomlatka hrasta kitnjaka od pepelnice na pokusnim plohama nije provedena jer je pojava u manjoj mjeri utvrđena samo na lokalitetu

„Gornja Kupčina”, i to tek na pojedinim pokusnim plohama. Procjena pojave obavljena u godini značajne pojave kako bi se mogla povezati s pojedinom šumskouzgojnom metodom.



**Slika 5.6.** Pokusne plohe nakon žetve korova na lokalitetu „Bistranska gora” u ljeto 2011. godine (jednostavna supstitucija)

## 5.10. Izmjere na pokusnim plohama

### 5.10.1. Utvrđivanje pojave i mortaliteta biljaka iz sjemena

Na lokalitetu „Gornja Kupčina“, gdje su obavljene sjetva i sadnja žira, te na lokalitetu „Doljani“, gdje je obavljena sadnja žira hrasta kitnjaka i bukvice, svake su godine pri kraju vegetacijske sezone utvrđivani broj i zdravstveno stanje biljaka iz sjemena. Prebrojavale su se zdrave i suhe biljke na temelju okularne procjene stanja krošnjica. Zbog prirodnog urastanja istih vrsta u pokus bilo je potrebno pronaći način razlikovanja biljaka nastalih kontroliranom sjetvom te onih nastalih prirodnom sukcesijom. Stoga su na početku istraživanja, prije sjetve, izdvojene biljke koje su se u kasnijem prebrojavanju izdvajale od biljaka iz umjetne regeneracije. Takve su biljke uklanjane kako ne bi smetale razvoju ispitivanih biljaka u pokusu, ali su se ipak ponovno pojavljivale u pokusu, nakon čega su na lagan način izdvajane na temelju velikih vrijednosti promjera na bazi stabljike i utvrđenoga početnoga broja. Ponik hrasta kitnjaka i obične bukve koji se pojavio tijekom istraživanja ulazio je u kalkulacije broja biljaka umjetne regeneracije, ali je njihova pojava zanemariva. Naime, o spontanoj pojavi ovih vrsta na pokusnim plohama i njihovu

broju svjedoče plohe prirodne sukcesije na kojima su te vrste evidentirane, a nalaze se u neposrednoj blizini zasijanih pokusnih ploha.

Izmjere pojave bukve iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“) obavljene su nakon svakoga vegetacijskog razdoblja u razdoblju od tri godine nakon sjetve. Prebrojavanje biljaka svake je godine obavljeno na svim poduzorcima u svim trima ponavljanjima (3 ponavljanja x 15 redova x 15 uzoraka). Jele iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“) su također prebrojavane nakon vegetacijskog razdoblja tijekom triju uzastopnih godina. Zbog velikoga broja pojave biljaka iz sjemena obične jele te njihovih malih dimenzija prve godine, prebrojavale su se biljke isključivo na uzorku od četiri reda (od 15 redova uzeti su 6., 7., 8. i 9. red).

#### 5.10.2. Izmjera visine, promjera na bazi korijena te utvrđivanje visinskoga prirasta biljaka iz sjemena

Zbog broja pokusnih ploha i biljaka iz sjemena nije bilo moguće na svim pokusnim plohama pratiti visine i promjere na bazi stabljike te evidentirati visinski i debljinski prirast. Izmjere nisu obuhvaćale lokalitete „Gornja Kupčina“ i „Doljani“. Detaljna istraživanja visine biljaka iz sjemena praćena su na najbližem lokalitetu, „Bistranskoj gori“, kod obične bukve (metoda pod zastorom krošanja i jednostavna supstitucija). To je omogućilo statističku usporedbu sjetve i sadnje (visine i promjeri) pod zastorom krošanja stabala kulture obične smreke i u uvjetima potpune osvjetljenosti. Za ove je potrebe unutar glavnoga uzorka osnovan slučajni poduzorak (četiri reda po 15 poduzoraka) u kojem je svakoj biljci mjerena visina (za svaku godinu) i promjer na bazi stabljike u posljednjoj godini istraživanja (2013. god.). Zbog relativno sporoga rasta obične jele, velikoga broja biljaka po jednoj reduciranoj površini i njihovih malih dimenzija, nisu mjerene visina i promjer, nego se pratila dinamika broja biljaka. Na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“ bilo je moguće u dva navrata izmjeriti visine biljaka, što je poslužilo za utvrđivanje visinskoga prirasta. Naime, na tome lokalitetu sjetva je obavilo poduzeće „Hrvatske šume“ d. o. o. iz Zagreba prije početka istraživanja, zbog čega nije bilo moguće pratiti nicanje te preživljenje ponika i pomlatka u prvim godinama nakon sjetve.

### 5.10.3. Utvrđivanje preživljenja posađenih sadnica

Tijekom 2010. i 2011. godine obavljena je izmjera i provedeno utvrđivanje preživljenja posađenih biljaka radi zamjene zdravim biljkama (popunjavanje). Nakon evidentiranja, izmjere te uklanjanja suhih biljaka s pokusnih ploha, obavljeno je popunjavanje tijekom jeseni 2010. godine na svim pokusnim plohama sadnje. Pri analizi izmjerenih parametara biljke koje su naknadno posađene uzimale su se u statističku obradu podataka kao početno stanje druge godine praćenja. Suhe su biljke također obuhvaćene i prikazane u okvirima statističke obrade uspjeha sadnje nakon prvoga vegetacijskog razdoblja. Evidentirane su i sve biljke koje su okularno, na temelju kloroze lista i iglica, procijenjene kao polusuhe te su pojedinačno praćene do kraja istraživanog razdoblja. Ovakva je procjena omogućila praćenje oporavka biljaka koje se nalaze u stanju šoka nakon presadnje, i to po vrstama drveća u prve tri godine nakon presadnje na teren. Suhe su biljke zamijenjene zdravim biljkama istoga sadnoga materijala kao i biljke pri postavljanju pokusnih ploha. Naime, planirana je nabava više sadnog materijala nego što je to potrebno za postavljanje pokusa pa je višak sadnica tijekom proljeća 2010. godine posađen na posebnim ograđenim površinama, u neposrednoj blizini samih pokusnih ploha, na svakome lokalitetu. Ove su biljke činile „rezerve” upravo za potrebe popunjavanja pokusnih ploha te su redovito njegovane kao i biljke u pokusu.

### 5.10.4. Izmjera visine, promjera na bazi stabljike te određivanje visinskog i debljinskog prirasta posađenih sadnica

Označivanje svake biljke metalnom oznakom pri sadnji omogućilo je redovite izmjere visine i promjera te praćenje razvoja svake biljke posebno, kao i detaljno evidentiranje negativnog utjecaja pojedinih abiotičkih i biotičkih čimbenika (slika 6.7.). Ovakvo je praćenje omogućilo stvaranje dizajna pokusa koji je obuhvaćao ponovljena mjerenja s vegetacijskom sezonom (godinom) kao vremenskim intervalom. Na temelju njega provedena je analiza varijanci ponovljenih mjerenja za sve parametre i sve sadnice u pokusima. Visine biljaka mjerene su s točnošću od 1 mm mjernom letvom (za manje biljke uporabljeno je obično ravnalo). Promjer je mjeran na bazi stabljike malom digitalnom promjerkom. U slučaju oštećenja ili kvrga na bazi stabljike promjer se mjerio odmah iznad deformacije.



**Slika 5.7.** Uspjeh sjetve i sadnje evidentiran je na pokusnim plohama veličine 5 x 5 m ili 10 x 10 m u trima repetitivima, pri čemu je svaka biljka obilježena i praćena zasebno na svim lokalitetima

S obzirom na to da je svaka biljka imala evidentiranu povijest, bilo je moguće odmah na terenu provjeravati dobivene podatke, osobito u slučaju „negativnih visinskih prirasta” ili kod biljaka računski nije utvrđen prirast. Zbog malih dimenzija biljaka u većini pokusa (osim onih koje je poduzeće „Hrvatske šume” d. o. o. Zagreb osnovalo prije početka istraživanja) bilo je moguće na svakoj biljci izmjerom provjeriti dobiveni računski visinski prirast prema karakterističnoj boji i teksturi mladoga ovogodišnjeg izbojka. Na terenu je odmah bilo moguće provjeriti i štete na svakoj biljci te utvrditi prirodu takvih šteta. Često je uočeno sušenje vršnog izbojka (osobito u slučaju hrasta kitnjaka), nakon čega bi se visina mjerila na postranoj grani koja je preuzela ulogu vršnog izbojka. Sve su visine mjerene do baze vršnoga pupa. Pri posljednjoj izmjeri na pojedinim pokusnim plohama jednostavne supstitucije na lokalitetu „Bistranska gora” utvrđene su štete od glodavaca i divljači na manjem broju biljaka. Kod biljaka na kojima je došlo do odgrizanja sadnica visine su interpolirane. Naime, izračunana je aritmetička sredina visina svih sadnica koje su u istom vegetacijskom razdoblju imale isti promjer na bazi stabljike. Evidentirano je kako su štete od divljači nastale tijekom zimskih mjeseci unatoč ograđivanju ogradama visine 1,3 m. Prirast promjera na bazi stabljike dobiven je računski kao razlika promjera na bazi stabljike na početku i na kraju vegetacijskog razdoblja. Detaljna izmjera biljaka na pokusnim plohama obavljena je redovito, svake godine u razdoblju od 2010. do 2013. godine.



#### 5.10.5. Utvrđivanje kvalitete mladika

Kvaliteta mladika procijenjena je u ovome istraživanju za dvije vrste drveća: hrast kitnjak i gorski javor. Izračun pravnosti biljaka obavljen je na temelju podataka dobivenih izmjerom biljaka na pokusnim plohama koje je osnovalo poduzeće „Hrvatske šume“ d. o. o. iz Zagreba. Takve su pokusne plohe postavljene u trima repetacijama na lokalitetima „Gornja Kupčina“ i „Doljani“. Radi praćenja kvalitete, ali i rasta i prirasta, i na ovim pokusnim plohama veličine 5 x 5 m (25 m<sup>2</sup>) sve su biljke označene metalnim vrpčama te zasebno praćene. Nije obavljena statistička usporedba između lokaliteta zbog nepodudaranja starosti sastojina, ali je izrađena deskriptivna statistika.

#### 5.10.6. Utvrđivanje pokrovnosti korovske vegetacije i osunčanosti krošanja

Istraživanje obuhvaća procjenu osunčanosti krošnje pomlatka te stupnja pokrovnosti korovske vegetacije oko svake posađene biljke. Pokrovnost korova utvrđena je na pokusnim plohamu sadnje hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“. Procjena postotka pokrivenosti tla korovskom vegetacijom obavljena je na potplohama veličine 1 m<sup>2</sup> oko svake posađene sadnice. Svaka pokusna ploha (25 m<sup>2</sup>) podijeljena je na manje potplohe veličine 1 m<sup>2</sup> te je svakoj pripisana jedna vrijednost korova te vrijednost osunčanosti krošnje istraživane biljke. Ovo, međutim, ne znači i da korov zastire sadnice, zbog čega je procijenjena i osunčanost krošanja sadnica na istim pokusnim plohamu. Razredi pokrovnosti nalaze se u ovim rasponima: 1 – 5: 1 – 0 - 20 %, 2 – 21 - 40 %, 3 – 41 – 60 %, 4 – 61 – 80 %, 5 – 81 – 100 %. Za dobivene podatke obavljena je deskriptivna statistika.

#### 5.10.7. Snimanje svjetlosnih uvjeta

Količina svjetla utvrđena je snimanjem i analizom hemisfernih fotografija. Hemisferne su fotografije snimljene iznad svake pokusne plohe na lokalitetu „Bistranska gora“ na kojima je primijenjena supstitucija pod zastorom krošanja stabala smrekove kulture. Na početku istraživanja (tijekom 2010. godine) postavljene su oznake za trajne pokusne točke na kojima su

snimljeni svjetlosni uvjeti u vegetacijskom razdoblju 2011. i 2013. godine. Trajne točke za snimanje hemisferičnih fotografija postavljene su u samo središte pokusnih ploha koje čini sjecište dijagonala kvadrata pokusnih ploha (10 m x 10 m). Fotografije su snimane u kolovozu, u sumrak ili prije svitanja, kako bi se iskoristilo što ujednačenije pozadinsko svjetlo, tj. izbjegle sjene na fotografijama. Za to je uporabljen Cannon, EOS, 1000D te objektiv EX SIGMA 4,5 mm (1 : 2.8 DC HSM). Ovakvi su uvjeti slični uvjetima oblačnoga vremena koje preporučuju Grant i dr. (1996) za snimanje svjetlosnih uvjeta u sastojinama. Fotografije su obrađene u profesionalnom računalnom programu Gap Light Analyser (GAP) na način koji preporučuje Wagner (1998).

### **5.11. Utvrđivanje pojave drvenastih vrsta u sukcesiji prirodne vegetacije**

Položaj pokusnih objekata (ploha) unutar vegetacijskih jedinica istražen je fitocenološkim snimanjem šumskih sastojina u okolici samih ploha te u samom pokusu na potplohama koje čine prirodnu sukcesiju. Fitocenološko snimanje u šumskim sastojinama obavljeno je po standardnoj metodi ciriško-monpelješke škole (Braun – Blanquet, 1964), dok je na plohama „sukcesija“ bilježen florni sastav. Cilj ovakvoga istraživanja bio je utvrđivanje potencijalne vegetacije u neposrednoj blizini ispitivanih šumskih kultura obične smreke.

Sukcesija drvenastih vrsta praćena je na svim pokusnim plohama na kojima je obavljena sjetva i sadnja biljaka (slika 5.8.). Na lokalitetu „Bistranska gora“ postavljene su pokusne plohe pod zastorom krošanja i u uvjetima potpune osvjetljenosti. Na lokalitetu „Gornja Kupčina“ osnovane su pokusne plohe u uvjetima potpune osvjetljenosti, na progalama te na rubu kulture obične smreke. Na lokalitetu „Doljani“ u neposrednoj je blizini obavljen sanitarni sijek u trima različitim periodima, što je omogućilo postavljenje pokusnih ploha kronosekvencije. Na tim pokusnim plohama u potpunosti je posječena kultura obične smreke te se kronosekvencija odnosi na uvjete potpune osvjetljenosti.



**Slika 5.8.** Izmjera biljaka na pokusnim plohama prirodne sukcesije u ljeto 2013. godine

### **5.12. Statistička obrada podataka**

Opisna statistika, statistička obrada i grafički prikazi napravljeni su s pomoću programskog paketa STATISTICA 8.2 (StatSoft Inc. 2007). Dokazivanje statistički značajne razlike između promatranih uzoraka (npr. različitih šumskouzgojnih metoda, načina pripreme tla, tipa i starosti sadnoga materijala, načina sjetve i sl.) uglavnom je obavljeno analizom varijanci ponovljenih mjerenja jer su gotovo sva mjerenja ponavljana u više uzastopnih godina (dvije do četiri godine). Za manji broj uzoraka napravljena je jednostruka analiza varijanci. Za sve izmjerene podatke napravljena je opisna statistika. Kada je potvrđena statistički značajna razlika između promatranih uzoraka, bilo je potrebno vidjeti između kojih uzoraka ili opažanja (godina) postoji razlika. Stoga je razlika dobivena analizom varijanci ponovljenih mjerenja testirana „post hoc” Tuckey testom (Sokal i Rohlf, 1995).

## **6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA**

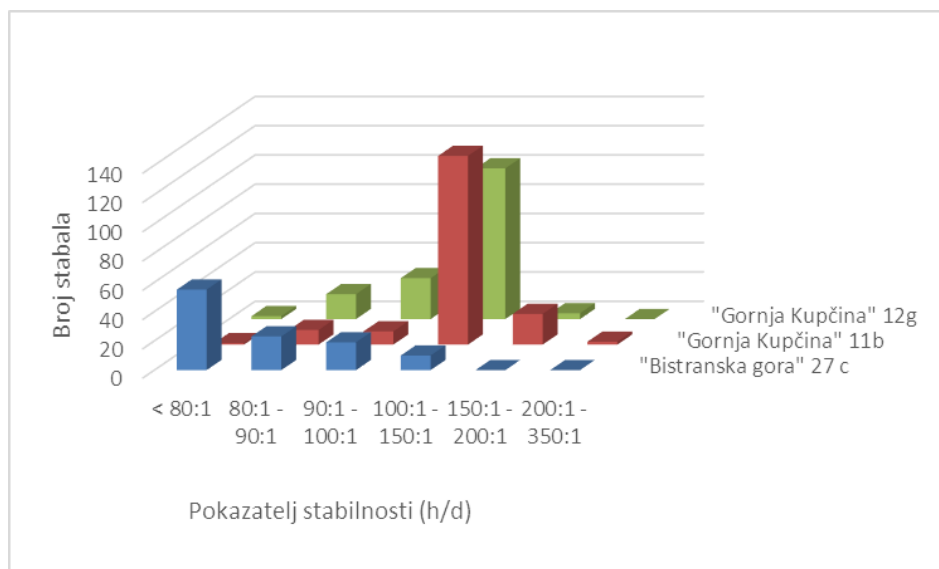
### **6.1. Strukturni parametri ispitivanih kultura obične smreke – pojas hrasta kitnjaka i pojas obične bukve i obične jele (lokaliteti „Bistranska gora“ i „Gornja Kupčina“)**

U monokulturama obične smreke postavljene su pokusne plohe veličine 10 x 10 m na dvama lokalitetima („Gornja Kupčina, „Bistranska gora“) kako bi se utvrdili strukturni elementi kultura te procijenila sposobnost očuvanja zastora stabala pri supstituciji. Na lokalitetu „Gornja Kupčina“ postavljene su pokusne plohe u odsjecima 12 g i 11 b. S obzirom na to da je na lokalitetu „Bistranska gora“, u odsjeku 27 c, obavljena supstitucija pod zastorom stabala kulture obične smreke, struktura i parametri stabilnosti utvrđeni su na istim pokusnim plohama na kojima je obavljena supstitucija, što nije slučaj na ostalim lokalitetima.

U svim trima ponavljanjima u odsjeku 12 g na lokalitetu „Gornja Kupčina“ zastupljena je samo obična smreka (154 stabla), dakle istraživana je supstitucija monokulture obične smreke. Kvocijent visine i promjera (h/d) nepovoljan je za čak 98 % stabala ( $> 80 : 1$ ), a kod 11,9 % stabala u graničnim je uvjetima ( $80 : 1$  do  $90 : 1$ ). Vitalitet stabala pokazuje da je 74,03 % (114) stabala zdravo, dok je 25,97 % (40 stabala) suho. Ukupni volumen stabala na pokusnim plohama iznosi  $7,49 \text{ m}^3$ , a kako je veličina plohe  $0,03 \text{ ha}$ , to je  $249,74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Temeljica na pokusnim plohama iznosi  $1,21 \text{ m}^2$ . Na istraživanoj je površini utvrđeno čak 47 stabala tanjih od 7 cm, tj. 30,52 % ukupnoga broja stabala.

Na pokusnim plohama u odsjeku 11 b također je zastupljena samo obična smreka (100 %), ali sa 181 stablom, što je nešto više od prethodne kulture. Iz promjera i visina, kao i iz njihova odnosa, uočljivo je da nijedno stablo nema povoljan odnos h/d, tj. nema stabala s odnosom manjim od  $80 : 1$ . Habitus koji je u graničnim uvjetima stabilnosti posjeduje 5,5 % stabala ( $80 : 1$  do  $90 : 1$ ), a čak su pronađena i stabla s vrijednostima većima od 200. Na slici 6.1. prikazan je udjel stabala prema kategorijama odnosa visine i promjera za sve lokalitete. Gotovo sva stabla u ovome odsjeku stradala su zbog vjetroizvala u prve tri godine nakon izmjere. Od 181 stabla na površini pokusnih ploha 143 je zdravo (79,01 %), dok je 38 stabala suho (20,99 %). Ukupni volumen stabala na plohi iznosi  $12,22 \text{ m}^3$ , što je nešto više od prethodne monokulture. Površina je pokusnih poha iste veličine ( $0,03 \text{ ha}$ ) pa ukupni volumen po hektaru iznosi  $407,27 \text{ m}^3$ , što je gotovo dvostruko više od prethodne monokulture (odsjek 12 g). Temeljica na pokusnim plohama iznosi  $1,656 \text{ m}^2$ . Na plohama su utvrđena čak 42 stabla smreke ispod 7 cm, što je 23,20 % od ukupnoga broja stabala na plohi.

Prema omjeru smjese, kultura je na lokalitetu „Bistranska gora“ (odsjek 27 c) mješovita kultura obične smreke i obične jele. Na pokusnim su plohama utvrđena 144 stabla, od čega 108 stabla ili 75 % obične smreke, 28 ili 19,4 % obične jele te preostalih 5,6 % bukve, graba i javora. Na plohi se nalaze stabla većih dimenzija obične smreke i povoljnijih odnosa promjera i visina nego što je to na ostalim lokalitetima (slika 6.1.). Povoljan odnos visine i promjera ima 51,4 % stabala, a 21,49 % nalazi se u graničnim vrijednostima (80 : 1 do 90 : 1). Nisu evidentirana stabla koja imaju odnos h/d veći od 150 : 1. Ovdje je početkom istraživanja doznačeno i posječeno 21,65 m<sup>3</sup> (135,319 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) ili 31,6 % volumena naplođnim sijekom. Morao se primijeniti manji intenzitet doznake zbog bočnog osvjetljenosti koja je rezultat progoljenoga sklopa zbog sušenja stabala. Prije otvaranja sklopa volumen svih stabala na pokusnim plohama, koje su nešto veće od prethodnih lokaliteta (0,16 ha), iznosio je 68,619 m<sup>3</sup> ili 428,88 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Analizirajući samo stabla obične smreke, utvrđen je volumen od 54,562 m<sup>3</sup> ili 341,012 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Nakon otvaranja sklopa na plohama ostaje ukupno 114 stabala. Ukupni volumen nakon otvaranja sklopa iznosi 46,968 m<sup>3</sup> ili 293,55 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Temeljnica je prije otvaranja sklopa iznosila 7,219 m<sup>2</sup> te 5,027 m<sup>2</sup> nakon prorjede. Na plohama je prije doznake izmjereno 17 stabala tanjih od 7 cm (uglavnom obična jela). U trećoj godini nakon doznake (nakon koje su sva preostala stabla bila vizualno procijenjena kao potpuno zdrava) utvrđeno je čak 13 suhih smrekovih stabala te 11 polusuhih koja su se potpuno osušila iduće godine. To znači da je u tri godine nakon sječe čak četvrtina stabala u znatnom stupnju sušenja.



**Slika 6.1.** Usporedba parametra stabilnosti obične smreke u svim istraživanim kulturama

## 6.2. Nerazgrađena organska tvar u šumskoj prostirci kultura obične smreke

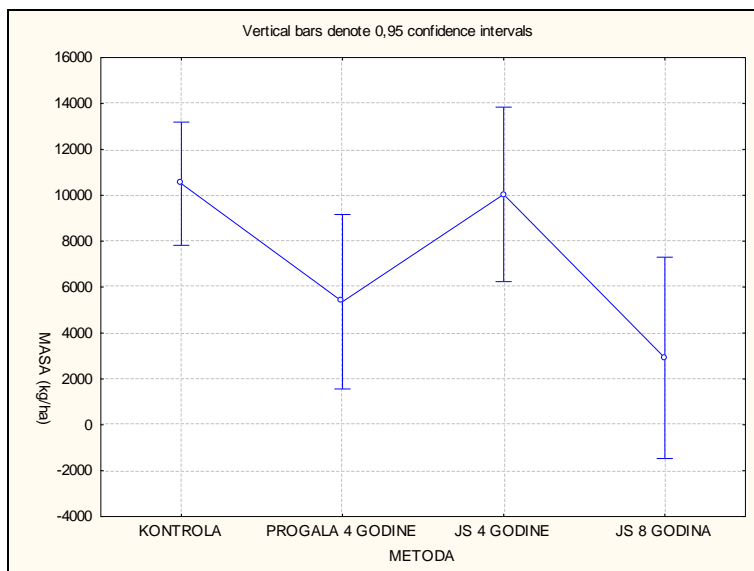
### 6.2.1. Zaliha organske tvari u šumskoj prostirci

Ukupna zaliha organskoga sloja na lokalitetima „Gornja Kupčina“ i „Bistranska gora“ utvrđena je u uvjetima prije primjene supstitucijskih metoda i različitih načina pripreme tla. Na lokalitetu „Doljani“ uzorkovani su samo gornji pothorizonti O - i i O - e (L i F). Ukupna zaliha organskog horizonta na lokalitetu „Gornja Kupčina“ iznosi 79 053 kg ha<sup>-1</sup> u suhome stanju. U gornjemu sloju koji je izdvojen prema količini nerazgrađenih iglica kao O i ili L-pothorizont (1/6 do 2/3 obujma prepoznatljivih biljnih ostataka) te O - e ili F-pothorizont (1/6 do 2/3 obujma prepoznatljivih biljnih ostataka) uzorkovani su zajedno kako se ne bi napravila pogreška pri odjeljivanju pothorizonta zbog teškoga prepoznavanja. Organski pothorizont O - a (H) (prepoznatljivi biljni ostatci < 1/6 obujma cjelokupne organske tvari) uzorkovan je zasebno (lako prepoznavanje) te njegova zaliha iznosi 55,8 t ha<sup>-1</sup> u suhome stanju. Na lokalitetu „Bistranska gora“ ukupna zaliha organskog horizonta iznosi 106,4 t ha<sup>-1</sup> u suhome stanju, a O - a (H) pothorizont sadržava 82 t ha<sup>-1</sup> u suhome stanju.

Srednje vrijednosti zalihe nerazgrađene organske tvari šumske prostirke u suhome stanju na lokalitetu „Gornja Kupčina“ kreću se od 10,5 t ha<sup>-1</sup> u šumskim kulturama do 2,9 t ha<sup>-1</sup> osam godina nakon jednostavne supstitucije (tablica 6.1.). U šumskim je kulturama utvrđena iznimno velika standardna devijacija (5,2 t ha<sup>-1</sup>). Na slici 6.2. uočava se trend smanjivanja vrijednosti prema supstitucijskoj metodi i proteklom vremenu. Od trenda odstupaju vrijednosti za metodu jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata.

**Tablica 6.1.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i, O - e horizont) u šumskoj prostirci na lokalitetu „Gornja Kupčina“ po pojedinim supstitucijskim metodama

|        |                  | N  | MASA (kg/ha)<br>Aritmetička sredina | MASA<br>(kg/ha) St.<br>devijacija |
|--------|------------------|----|-------------------------------------|-----------------------------------|
|        | UKUPNO           | 19 | 8127,73                             | 4487,861                          |
| METODA | KONTROLA         | 8  | 10506,35                            | 5200,138                          |
| METODA | PROGALA 4 GODINE | 4  | 5364,40                             | 285,763                           |
| METODA | JS 4 GODINE      | 4  | 10042,10                            | 590,410                           |
| METODA | JS 8 GODINA      | 3  | 2916,67                             | 109,249                           |



KONTROLA – zaliha nerazgrađene organske tvari u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

PROGALA 4 GODINE – zaliha nerazgrađene organske tvari u progalama iste kulture četiri godine nakon otvaranja sklopa

JS 4 GODINE – zaliha nerazgrađene organske tvari na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata

JS 8 GODINA – zaliha nerazgrađene organske tvari na plohama jednostavne supstitucije osam godina nakon zahvata

**Slika 6.2.** 95 %-tni interval pouzdanosti zalihe nerazgrađene organske tvari u suhrome stanju na lokalitetu „Gornja Kupčina“ prema istraženim supstitucijskim metodama

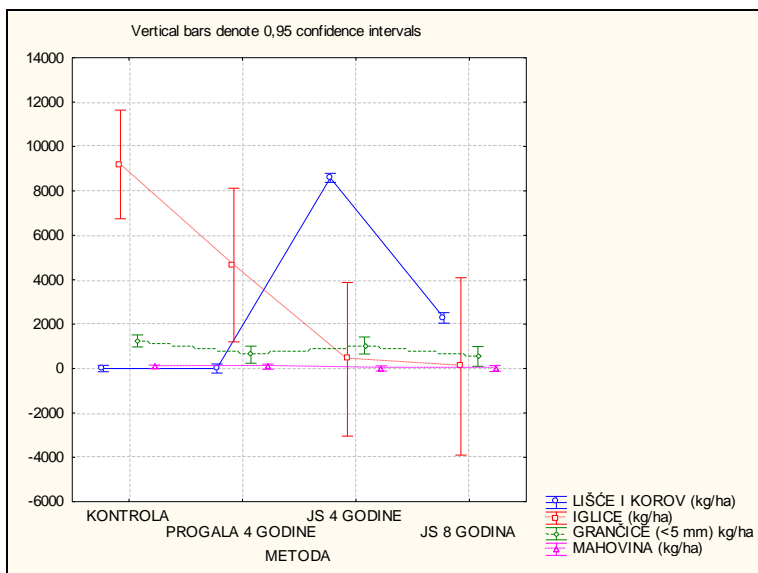
Analizom porijekla biljnih ostataka u nerazgrađenoj šumskoj prostirci (tablica 6.2.) utvrđeno je da samo na pokusnim plohama jednostavne supstitucije postoji udio lišća bjelogoričnih vrsta i korova (od 2 277 kg ha<sup>-1</sup> do 8 589 kg ha<sup>-1</sup>). Udio iglica i grančica utvrđen je u uzorcima na svim pokusnim plohama, ali su vrijednosti najmanje na plohama osam godina nakon provedenog zahvata. Mahovine su utvrđene samo u kulturama i progalama.

**Tablica 6.2.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i, O - e horizont) u šumskoj prostirci prema vrsti biljnih ostataka i pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

|        |                  | N  | LIŠĆE I KOROV (kg/ha) Aritmetička sredina | LIŠĆE I KOROV (kg/ha) St. devijacija | IGLICE (kg/ha) Aritmetička sredina | IGLICE (kg/ha) St. devijacija | GRANČICE (<5 mm) kg/ha Aritmetička sredina | GRANČICE (<5 mm) kg/ha St. devijacija | MAHOVINA (kg/ha) Aritmetička sredina | MAHOVINA (kg/ha) St. devijacija |
|--------|------------------|----|---|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|        | UKUPNO           | 19 | 2167,687                                  | 3511,133                             | 4954,414                           | 5030,217                      | 959,453                                    | 446,9033                              | 47,08949                             | 106,8179                        |
| METODA | KONTROLA         | 8  | 0,000                                     | 0,000                                | 9193,859                           | 4743,473                      | 1242,942                                   | 459,0883                              | 71,72920                             | 151,5973                        |
| METODA | PROGALA 4 GODINE | 4  | 0,000                                     | 0,000                                | 4660,908                           | 229,850                       | 623,275                                    | 33,0249                               | 80,21670                             | 81,1185                         |
| METODA | JS 4 GODINE      | 4  | 8588,901                                  | 363,964                              | 412,562                            | 313,297                       | 1040,637                                   | 394,4187                              | 0,00000                              | 0,0000                          |
| METODA | JS 8 GODINA      | 3  | 2276,816                                  | 280,596                              | 96,373                             | 166,924                       | 543,477                                    | 67,9691                               | 0,00000                              | 0,0000                          |



Na slici 6.3. uočava se pravilno smanjenje količine iglica prema pojedinoj metodi i vremenskom odmaku od njezine primjene. Promjene količine grančica i mahovine u neznatnom su padu, dok se količina listinca i korova povećava. Također se uočava skok količine listinca i korova na plohama četiri godine nakon primjene jednostavne supstitucije ( $8589 \text{ kg ha}^{-1}$ ).



KONTROLA – uzorci prikupljeni u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

PROGALA 4 GODINE – uzorci prikupljeni u progalama iste kulture četiri godine nakon otvaranja sklopa

JS 4 GODINE – uzorci prikupljeni na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata

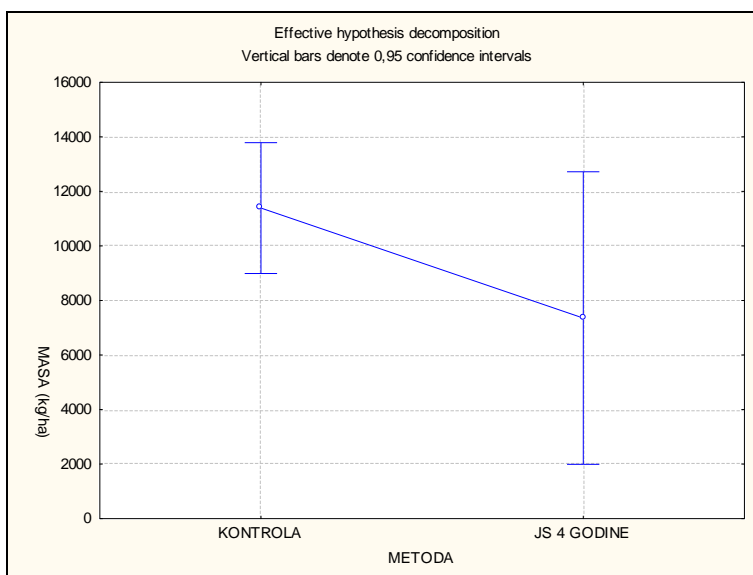
JS 8 GODINA – uzorci prikupljeni na plohama jednostavne supstitucije osam godina nakon zahvata

**Slika 6.3.** Zaliha različitih vrsta ostataka biljnog materijala prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Za lokalitet „Doljani“ rezultati deskriptivne statistike prikazani su u tablici 6.3. Veća standardna devijacija uočava se kod uzoraka u šumskoj kulturi. Na slici 6.4. uočava se jasno smanjenje zalihe nerazgrađene organske tvari na pokusnim plohama jednostavne supstitucije za  $4034 \text{ kg ha}^{-1}$ , što je smanjenje od 43 %.

**Tablica 6.3.** Deskriptivna statistika zalihe neragrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

|        |             | N  | MASA (kg/ha)<br>Aritmetička sredina | MASA<br>(kg/ha) St.<br>devijacija |
|--------|-------------|----|-------------------------------------|-----------------------------------|
|        | UKUPNO      | 18 | 10718,00                            | 4523,848                          |
| METODA | KONTROLA    | 15 | 11390,43                            | 4626,889                          |
| METODA | JS 4 GODINE | 3  | 7355,87                             | 1936,600                          |



KONTROLA – zaliha nerazgrađene organske tvari u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

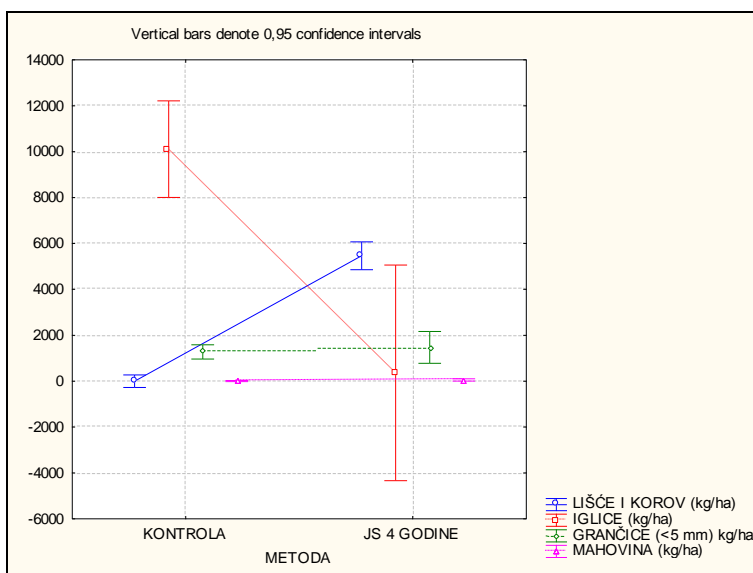
JS 4 GODINE – zaliha nerazgrađene organske tvari na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata

**Slika 6.4.** Zaliha nerazgrađene organske tvari u suhome stanju prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

Analizom porijekla biljnih ostataka u nerazgrađenoj šumskoj prostirci (tablica 6.4.) utvrđeno je da samo na pokusnim plohama jednostavne supstitucije postoji udio lišća bjelogoričnih vrsta i korova koji je za 36 % manji nego na prethodnom lokalitetu ( $5465 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Udio iglica i grančica na plohama jednostavne supstitucije 28 puta je manji od njihova udjela u kulturama. Razlike kod mahovina i grančica mnogo su manje (24 % za vrijednosti grančica). Na slici 6.5. uočava se sličan trend kao i na lokalitetu „Gornja Kupčina“.

**Tablica 6.4.** Deskriptivna statistika zalihe neragrađene organske tvari (O - i, O - e horizont) u šumskoj prostirci prema vrsti biljnih ostataka i pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

|        |             | N  | LIŠĆE I KOROV (kg/ha) Aritmetička sredina | LIŠĆE I KOROV (kg/ha) St. devijacija | IGLICE (kg/ha) Aritmetička sredina | IGLICE (kg/ha) St. devijacija | GRANČICE (<5 mm) kg/ha Aritmetička sredina | GRANČICE (<5 mm) kg/ha St. devijacija | MAHOVINA (kg/ha) Aritmetička sredina | MAHOVINA (kg/ha) St. devijacija |
|--------|-------------|----|---|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|        | UKUPNO      | 18 | 910,966                                   | 2150,624                             | 8483,99                            | 5277,323                      | 1308,400                                   | 554,0605                              | 14,64127                             | 44,38676                        |
| METODA | KONTROLA    | 15 | 0,000                                     | 0,000                                | 10108,26                           | 4104,746                      | 1275,793                                   | 541,0206                              | 6,36984                              | 24,67028                        |
| METODA | JS 4 GODINE | 3  | 5465,795                                  | 1403,717                             | 362,64                             | 249,275                       | 1471,434                                   | 715,9526                              | 55,99840                             | 96,99207                        |



KONTROLA – uzorci prikupljeni u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

JS 4 GODINE – uzorci prikupljeni na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata

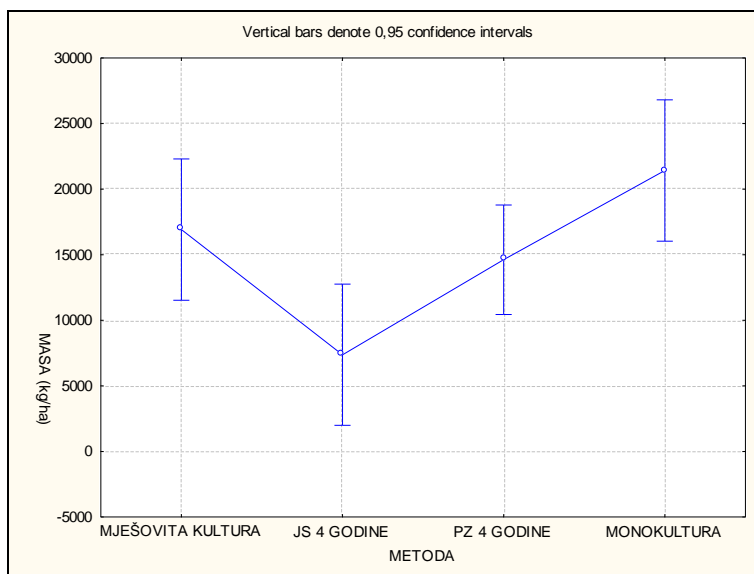
**Slika 6.5.** Zaliha različitih vrsta ostataka biljnog materijala prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

Na lokalitetu „Bistranska gora“ utvrđena je najmanja srednja vrijednost zalihe nerazgrađene organske tvari u suhome stanju na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata ( $7374 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (tablica 6.5.). Za te pokusne plohe utvrđena je i najmanja standardna devijacija ( $421,76 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Veći vremenski odmaci od obavljenog zahvata za ovaj lokalitet nisu pronađeni. Najveće su vrijednosti utvrđene u monokulturi ( $21\,420 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a za njom slijedi mješovita kultura obične smreke i obične jele.

**Tablica 6.5.** Deskriptivna statistika količine nerazgrađene organske tvari (O - i, O - e horizont) u šumskoj prostirci prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

|        |                   | N  | MASA (kg/ha)<br>Aritmetička sredina | MASA<br>(kg/ha) St.<br>devijacija |
|--------|-------------------|----|-------------------------------------|-----------------------------------|
|        | UKUPNO            | 14 | 15017,00                            | 6109,697                          |
| METODA | MJEŠOVITA KULTURA | 3  | 16920,53                            | 6025,839                          |
| METODA | JS 4 GODINE       | 3  | 7374,80                             | 421,758                           |
| METODA | PZ 4 GODINE       | 5  | 14618,40                            | 4741,492                          |
| METODA | MONOKULTURA       | 3  | 21420,00                            | 2499,539                          |

Na slici 6.6. uočava se pravilno smanjenje zalihe nerazgrađene organske tvari u suhome stanju prema metodama, tj. intenzitetu otvaranju sklopa kulture. Najveće su vrijednosti utvrđene za kontrolne uvjete bez primjene uzgojnih zahvata u monokulturi obične smreke i mješovitoj kulturi obične smreke i obične jele. Vrijednosti za metodu pod zastorom krošanja nalaze se između kontrolnih uvjeta i uvjeta potpuna uklanjanja šumske kulture.



MONOKULTURA – zaliha nerazgrađene organske tvari u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

MJEŠOVITA KULTURA – zaliha nerazgrađene organske tvari u kulturi o. smreke i o. jele u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

PZ 4 GODINE – zaliha nerazgrađene organske tvari pod zastorom kulture četiri godine nakon napludnog sijeka

JS 4 GODINE – zaliha nerazgrađene organske tvari na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata

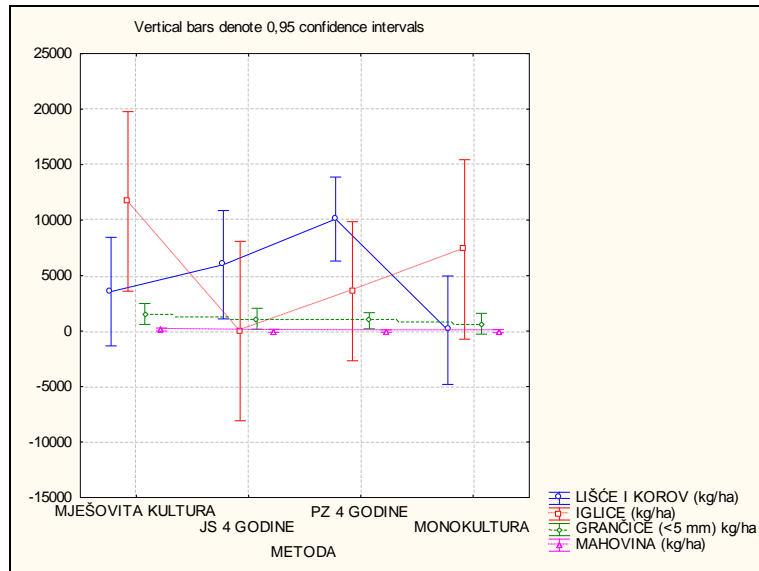
**Slika 6.6.** Zaliha nerazgrađene organske tvari prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

Analizom porijekla biljnih ostataka u nerazgrađenoj šumskoj prostirci (tablica 6.6.) utvrđeno je da je udio lišća bjelogoričnih vrsta drveća i korova gotovo zanemarivo u monokulturama ( $81 \text{ kg ha}^{-1}$ ), dok je najveće na pokusnim plohama pod zastorom krošanja za kojima slijedi jednostavna supstitucija. Za količinu iglica najmanje vrijednosti utvrđene su na plohama jednostavne supstitucije, a najveće u mješovitoj kulturi. Najmanje razlike između pokusnih ploha utvrđene su za vrijednosti grančica, dok je količina mahovina zanemariva te varira neovisno o supstitucijskoj metodi.

**Tablica 6.6.** Deskriptivna statistika zalihe nerazgrađene organske tvari (O - i horizont) u šumskoj prostirci prema vrsti biljnih ostataka i pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

|        |                   | N  | LIŠĆE I<br>KOROV<br>(kg/ha)<br>Aritmetička<br>sredina | LIŠĆE I<br>KOROV<br>(kg/ha) St.<br>devijacija | IGLICE<br>(kg/ha)<br>Aritmetička<br>sredina | IGLICE<br>(kg/ha) St.<br>devijacija | GRANČICE<br>(<5 mm)<br>kg/ha<br>Aritmetička<br>sredina | GRANČICE<br>(<5 mm)<br>kg/ha<br>St.<br>devijacija | MAHOVINA<br>(kg/ha)<br>Aritmetička<br>sredina | MAHOVINA<br>(kg/ha)<br>St.<br>devijacija |
|--------|-------------------|----|---|---|---|-------------------------------------|--|---|---|--|
|        | UKUPNO            | 14 | 5667,07   | 5185,333                                      | 5362,43                                     | 6953,53                             | 1045,774   | 712,047   | 35,4037                                       | 109,4950                                 |
| METODA | MJEŠOVITA KULTURA | 3  | 3559,31   | 5312,677                                      | 11681,65                                    | 5554,69                             | 1543,961   | 910,348   | 135,6137                                      | 234,8898                                 |
| METODA | JS 4 GODINE       | 3  | 5981,40   | 251,915                                       | 6,23  | 5,59                                | 1114,695   | 179,783   | 29,6036                                       | 51,2750                                  |
| METODA | PZ 4 GODINE       | 5  | 10094,76  | 4681,489                                      | 3589,19                                     | 1483,93                             | 934,453  | 491,043   | 0,0000  | 0,0000                                   |
| METODA | MONOKULTURA       | 3  | 81,00   | 140,296                                       | 7354,80                                     | 12738,89                            | 664,200  | 1150,428  | 0,0000  | 0,0000                                   |

Na slici 6.7. uočava se pravilno povećanje udjela listinca bjelogoričnih vrsta i korova kako se svjetlosni uvjeti na pokusnim plohama povećavaju, tj. uočava se njihovo proporcionalno povećanje sa supstitucijskim metodama kojima se otvara sklop većim intenzitetom. Količina je iglica u obrnuto proporcionalnom odnosu s povećanjem intenziteta otvaranja sklopa na pokusnim plohama. Najveća količina iglica i listinca utvrđena je u mješovitoj kulturi. Količina se grančica neznatno smanjuje. Količina mahovina zastupljena je s najmanjim udjelom te neznatno varira.



MONOKULTURA – uzorci prikupljeni u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

MJEŠOVITA KULTURA – uzorci prikupljeni u kulturi o. smreke i o. jele u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

PZ 4 GODINE – uzorci prikupljeni pod zastorom kulture četiri godine nakon naplodnog sijeka

JS 4 GODINE – uzorci prikupljeni na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata

**Slika 6.7.** Zaliha različitih vrsta ostataka biljnog materijala prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

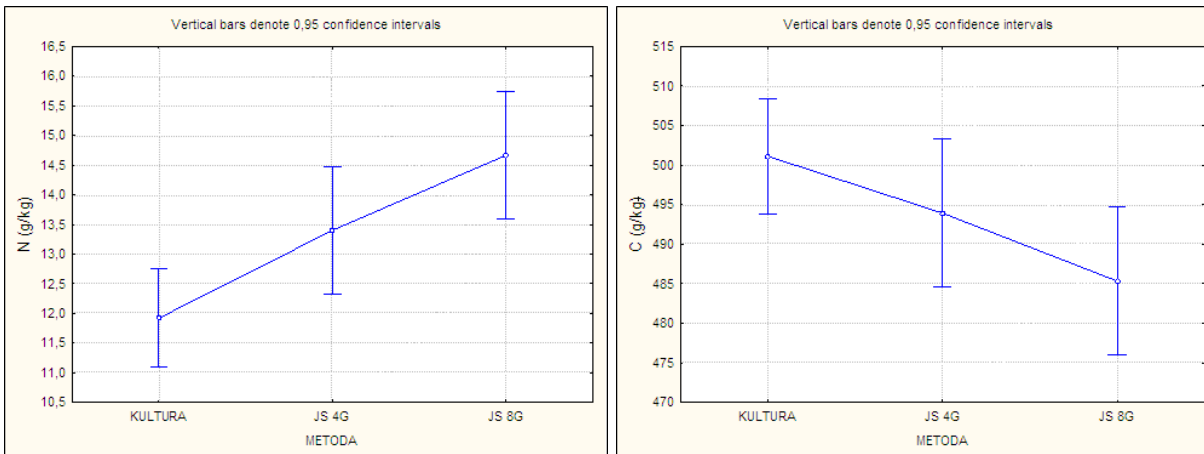
### 6.2.2. Kemijska analiza nerazgrađene organske tvari u šumskoj prostirci

Na lokalitetu „Gornja Kupčina“ laboratorijskom analizom uzoraka nerazgrađene organske tvari utvrđena je najveća količina ugljika (C) koja je u rasponu od 493,9 g/kg do 501,1 g/kg. Nakon ugljika slijedi dušik (N) s vrijednostima od 11,92 g/kg do 14,67 g/kg (tablica 6.7.).

**Tablica 6.7.** Deskriptivna statistika dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i, O - e horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

|        |         | N  | N (g/kg)<br>Aritmetička<br>sredina | N (g/kg)<br>St.<br>devijacija | C (g/kg)<br>Aritmetička<br>sredina | C (g/kg)<br>St.<br>devijacija |
|--------|---------|----|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
|        | UKUPNO  | 11 | 13,07273                           | 1,405767                      | 494,85455                          | 9,300792                      |
| METODA | KULTURA | 5  | 11,92000                           | 0,791833                      | 501,12000                          | 6,233137                      |
| METODA | JS 4G   | 3  | 13,40000                           | 1,153256                      | 493,93333                          | 10,649100                     |
| METODA | JS 9G   | 3  | 14,66667                           | 0,057735                      | 485,33333                          | 2,454248                      |

Za ovaj su lokalitet analizirani uzorci prikupljeni na kontrolnim pokusnim plohama u kojima nije primijenjen uzgojni zahvat (potpuno zatvoren sklop) te u pravilnim vremenskim razmacima nakon provođenja jednostavne supstitucije (četiri i devet godina). Na slici 6.8. uočava se pravilno povećanje dušika (N, g/kg) te smanjenje ugljika (C, g/kg). Odnos C/N kreće se od 42 u šumskoj kulturi te se smanjuje na 33.



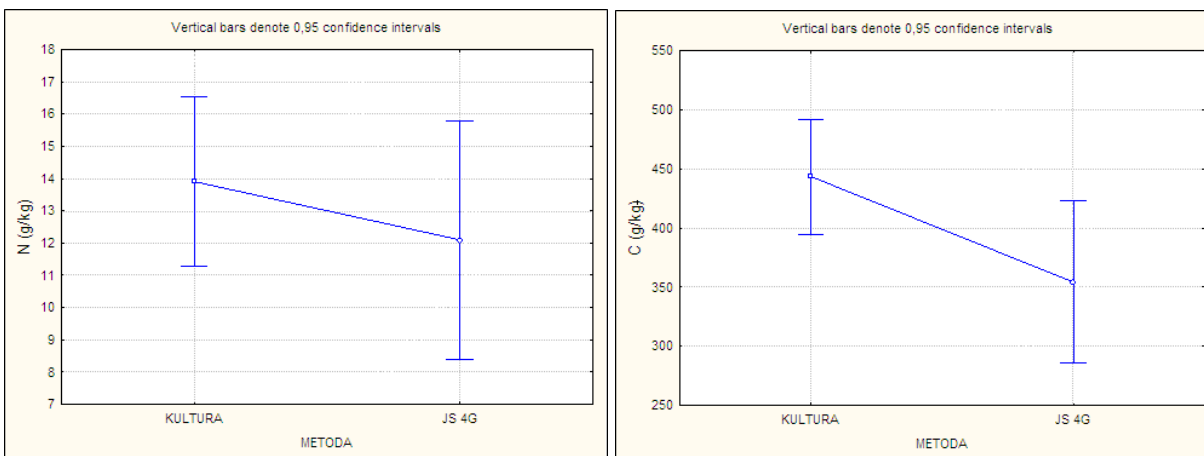
KULTURA – uzorci prikupljeni u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat  
 JS 4G – uzorci prikupljeni na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata  
 JS 8G – uzorci prikupljeni na plohama jednostavne supstitucije osam godina nakon zahvata

**Slika 6.8.** 95 %-tni interval pouzdanosti za vrijednosti dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Gornja Kupčina“

U tablici 6.8. prikazani su rezultati deskriptivne statistike za udio analiziranih kemijskih elemenata na lokalitetu „Doljani”. Analiza uzoraka prikupljenih u kontrolnoj kulturi te četiri godine nakon jednostavne supstitucije upućuje na smanjenje ugljika (C, g/kg) i dušika (N, g/kg) (slika 6.9.). Odnos C/N kreće se od 32 u šumskoj kulturi te se smanjuje na 29.

**Tablica 6.8.** Deskriptivna statistika dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

|        |         | N | N (g/kg)<br>Aritmetička<br>sredina | N (g/kg)<br>St.<br>devijacija | C (g/kg)<br>Aritmetička<br>sredina | C (g/kg)<br>St.<br>devijacija |
|--------|---------|---|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
|        | UKUPNO  | 9 | 13,30444                           | 2,686853                      | 413,72222                          | 64,836772                     |
| METODA | KULTURA | 6 | 13,90667                           | 3,176329                      | 443,46667                          | 59,500510                     |
| METODA | JS 4G   | 3 | 12,10000                           | 0,624500                      | 354,23333                          | 1,365040                      |



KULTURA – uzorci prikupljeni u monokulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

JS 4 GODINE – uzorci prikupljeni na plohama jednostavne supstitucije četiri godine nakon zahvata

**Slika 6.9.** 95 %-tni interval pouzdanosti za vrijednosti dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Doljani“

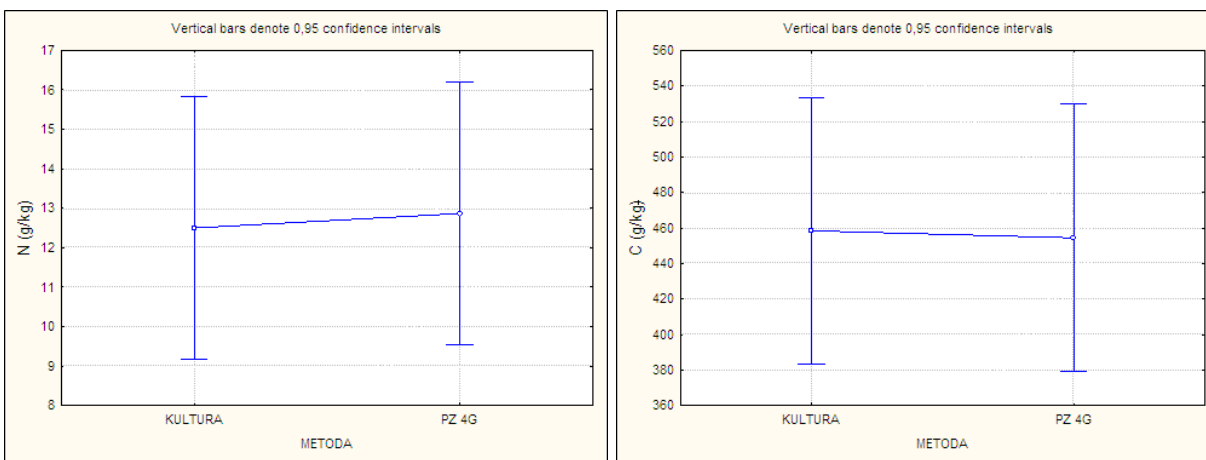
U tablici 6.9. prikazani su rezultati deskriptivne statistike za udio analiziranih kemijskih elemenata na lokalitetu „Bistranska gora”. Analiza uzoraka prikupljenih u kontrolnoj kulturi te četiri godine nakon supstitucije pod zastorom krošanja obične smreke upućuje na smanjenje



ugljika (C, g/kg) (slika 6.10.). Uočava se neznatno povećanje dušika (N, g/kg). Odnos C/N kreće se od 36,6 u šumskoj kulturi te se smanjuje na 35 nakon naprodnog sijeka.

**Tablica 6.9.** Deskriptivna statistika dušika (N) i ugljika (C) u nerazgrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

|        |         | N | N (g/kg)<br>Aritmetička<br>sredina | N (g/kg)<br>St.<br>devijacija | C (g/kg)<br>Aritmetička<br>sredina | C (g/kg)<br>St.<br>devijacija |
|--------|---------|---|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
|        | UKUPNO  | 6 | 12,68333                           | 1,863778                      | 456,41667                          | 42,023299                     |
| METODA | KULTURA | 3 | 12,50000                           | 2,165641                      | 458,40000                          | 41,386350                     |
| METODA | PZ 4G   | 3 | 12,86667                           | 1,973153                      | 454,43333                          | 51,867748                     |



KULTURA – uzorci prikupljeni u kulturi o. smreke u kojoj nije proveden uzgojni zahvat

PZ 4 GODINE – uzorci prikupljeni pod zastorom kulture četiri godine nakon naprodnog sijeka

**Slika 6.10.** 95 %-tni interval pouzdanosti za vrijednosti dušika (N) i ugljika (C) u neragrađenoj organskoj tvari (O - i horizontu) šumske prostirke prema pojedinim supstitucijskim metodama na lokalitetu „Bistranska gora“

### 6.3. Utvrđivanje tipova tala te rezultati laboratorijskog ispitivanja tla u zoni zakorjenjivanja šumskih sadnica

Geološku podlogu na području „Doljana“ (Žumberak) čine jurski i trijaski dolomiti te u manjoj mjeri kvartarni kvarcni pijesci i gline. Na takvoj podlozi dominantan tip tla jesu rendzine

na dolomitu s inkluzijama eutrično smeđeg, odnosno lesiviranog tla. Na području Gornje Kupčine matičnu podlogu čine kvarcni pjesci šljunci i gline. Dominantnu pedosistematsku jedinicu tvori pseudoglej obronačni s pseudoglejom na zaravni, lesiviranim tлом na praporu, kiselo smeđim s inkluzijama močvarno glejnog tla i koluvija. Na području Zagrebačke gore dominantnu pedosistematsku jedinicu tvori kiselo smeđe tlo na metamorfitima i klastitima.

Prvi korak u analizi pedoloških svojstava tla obuhvatio je klasificiranje triju istraživanih lokaliteta u bioklimate koji su izdvojeni za cjelovito šumsko područje u Hrvatskoj (Gračan i dr., 2002). Utvrđeni bioklimati za sve lokalitete prikazani su u tablici 6.10. Lokalitet u Ozlju nalazi se unutar bioklimata D koji dominantno označuje kombinaciju šumskih tipova: brdske bukove šume s mrtvom koprivom, submontanske bukove šume s trepavičastim šašem. Pripadajući tipovi tla u tom bioklimatu jesu rendzina na dolomitu, pseudoglej obronačni, lesivirano tlo na nevezanim sedimentima i distrično smeđe tlo. Lokalitet u Zagrebačkoj gori nalazi se unutar bioklimata C koji uključuje tipove kao što su panonska i dinarska bukovo-jelova šuma. Dominantni tipovi tla jesu distrično smeđe tlo u panonskom dijelu odnosno crnica i kalcikambisol u dinarskom. Lokalitet u Gornjoj Kupčini nalazi se unutar bioklimata E koji uključuje šume hrasta kitnjaka, i to hrasta kitnjaka i običnog graba, hrasta kitnjaka s bekicom, hrasta kitnjaka i pitomog kestena. Dominantni tipovi tla u tom su bioklimatu pseudoglej obronačni, eutrično i distrično smeđe tlo, luvisol, kalcikambisol i rendzina.

**Tablica 6.10** Utvrđeni bioklimati na istraživanim lokalitetima

| Lokacija        | Bioklimat | Tip tla  |
|-----------------|-----------|--|
| Bistranska gora | C2        | kiselo smeđe tlo na metamorfitima i klastitima |
| Gornja Kupčina  | E2        | pseudoglej obronačni                           |
| Doljani         | D2        | lesivirano tlo na praporu                      |

Drugi korak u analizi pedoloških svojstava tla obuhvatio je statističku usporedbu vrijednosti reakcije tla (pH H<sub>2</sub>O i pH KCl), količine humusa, ukupnog dušika i odnose C/N s prosječnim vrijednostima istih tipova tala za područje Republike Hrvatske. Statistička analiza napravljena je na temelju osnovnih statističkih pokazatelja (aritmetička sredina, standardna devijacija i standardna pogreška) za odgovarajuće tipove tala koje donosi Martinović (2003), a prikazani su u tablici 6.11. Iskazani parametri u tablici (sredina i standardna devijacija) čine

osnovu iz koje se može napraviti rekonstrukcija distribucije podataka te se može utvrditi da li stvarna mjerena vrijednost na terenu pripada toj distribuciji ili ne, odnosno gdje se ona u danoj distribuciji nalazi.

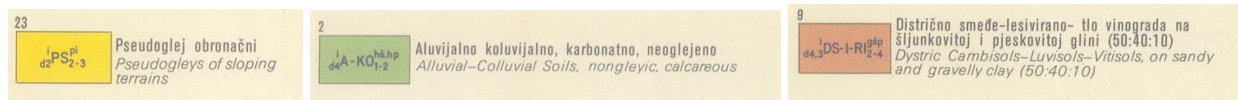
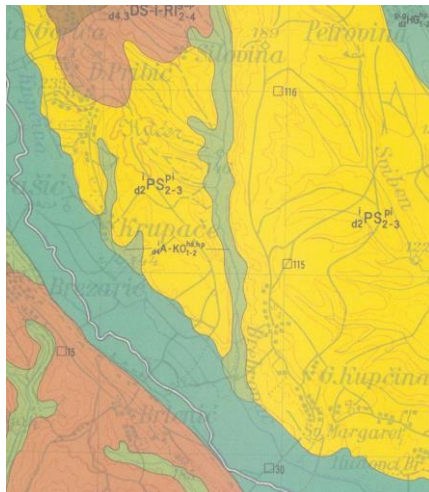
**Tablica 6.11.** Osnovni statistički pokazatelji za pH-vrijednost, humus i ukupni dušik tipova tala u Republici Hrvatskoj koji odgovaraju tipovima na istraživanim lokalitetima (Izvor: Martinović 2003)

| Tip tla                 | Bioklimat | pH (H <sub>2</sub> O) |     |      | Humus % |     |      | Ukupni dušik % |      |      |
|-------------------------|-----------|-----------------------|-----|------|---------|-----|------|----------------|------|------|
|                         |           | μ                     | sd  | CV   | μ       | sd  | CV   | μ              | sd   | CV   |
| Lesivirano              | D2        | 5.4                   | 0.7 | 13.9 | 6.5     | 2.9 | 45.4 | 0.27           | 0.13 | 47.2 |
| Distrično smeđe         | C2        | 4.7                   | 0.6 | 13.2 | 11.1    | 5.9 | 52.7 | 0.36           | 0.21 | 57   |
| Pseudoglej<br>obronačni | E2        | 4.9                   | 1.1 | 22   | 4.3     | 2.7 | 22   | 0.19           | 0.14 | 73.5 |

Pripadajuća je analiza napravljena primjenom korištenjem računalnog softvera R (<http://cran.r-project.org/>) i funkcije „dnorm“, odnosno generatora distribucije funkcije s normalnom distribucijom. Za svaki tip tla i parametar izrađena je i tablica kvantila, odnosno mjera koje dijele distribuciju na podjednake postotne udaljenosti unutar kojih se nalazi npr. 0 %, 25 %, 50 %, 75 % i 100 % podataka. Rezultati obračuna kvantila prikazani u tablici 6.12. Na taj način možemo utvrditi u kojem se postotnom razredu distribucije nalazi naš podatak, tj. ulaze li dobivene vrijednosti u 95 %-tne vjerojatnost ili ne. Napravljeno je i preklapanje koordinata pokusnih ploha s tipovima tala pedološke karte (slika 6.11.).

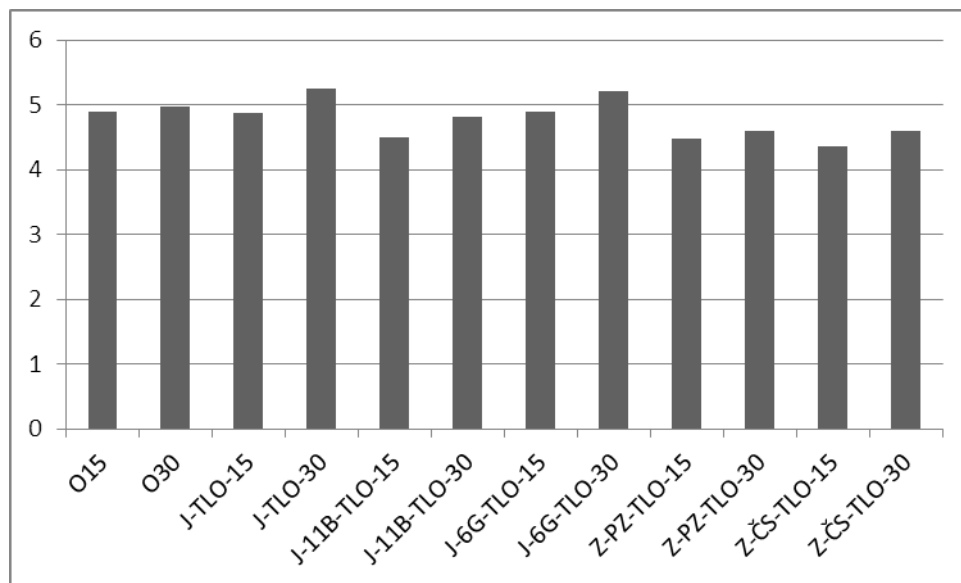
**Tablica 6.12.** Percentili iskazanih svojstava tipova tala utvrđenih na istraživanim lokalitetima

|       |                         | 0 %    | 25 %   | 50 %   | 75 %    | 100 %   |
|-------|-------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|       | luvisol D2              | 3.9335 | 4.8683 | 5.3636 | 5.8417  | 7.1544  |
| pH    | distrično smeđe C2      | 3.0168 | 4.3491 | 4.7407 | 5.1356  | 6.0342  |
|       | pseudoglej obronačni E2 | 2.4211 | 3.8869 | 4.8002 | 5.3664  | 7.4521  |
|       |                         | 0 %    | 25 %   | 50 %   | 75 %    | 100 %   |
|       | luvisol D2              | 0.4245 | 4.2971 | 6.3491 | 8.3298  | 13.7691 |
| humus | distrično smeđe C2      | 0.2899 | 7.1223 | 11.142 | 15.3856 | 27.876  |
|       | pseudoglej obronačni E2 | 0.0889 | 2.3647 | 4.2619 | 6.187   | 12.458  |
|       |                         | 0 %    | 25 %   | 50 %   | 75 %    | 100 %   |
|       | luvisol D2              | 0.0723 | 0.1646 | 0.2763 | 0.3513  | 0.4903  |
| dušik | distrično smeđe C2      | 0.007  | 0.2464 | 0.4298 | 0.553   | 0.9936  |
|       | pseudoglej obronačni E2 | 0.0096 | 0.1014 | 0.1962 | 0.3001  | 0.5339  |

**Slika 6.11.** Primjer segmenta Osnovne pedološke karte s lokalitetom Gornja Kupčina

## 6.3.1. Reakcija tla – pH

Na uzorcima tla uzetima do 5 cm dubine na lokalitetu „Bistranska gora” utvrđena je jako kisela reakcija tla srednjih vrijednosti 3,8 (pH u vodi) te 3,04 (pH KCl). Ostali uzorci za sve lokalitete uzimani su na dubinama 0 – 15 i 15 – 30 cm (tablica 6.13.). Reakcija tla (pH H<sub>2</sub>O) na istraživanim lokalitetima kreće se od 4,35 do 4,9. Najmanje su vrijednosti utvrđene u mješovitoj kulturi obične smreke i obične jele na lokalitetu Bistranska gora (slika 6.12.).

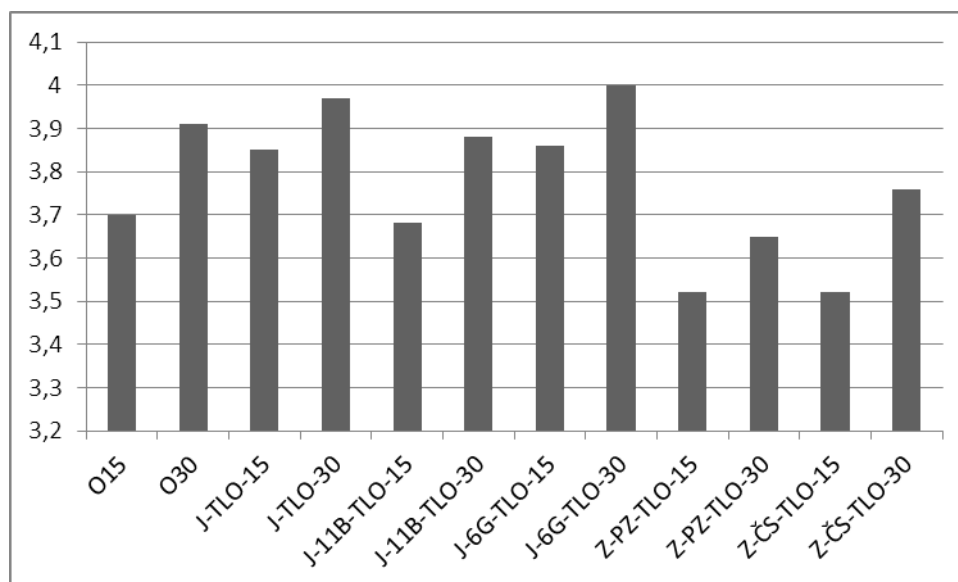


**Slika 6.12.** Reakcija tla (pH H<sub>2</sub>O) na istraživanim pokusnim ploham (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

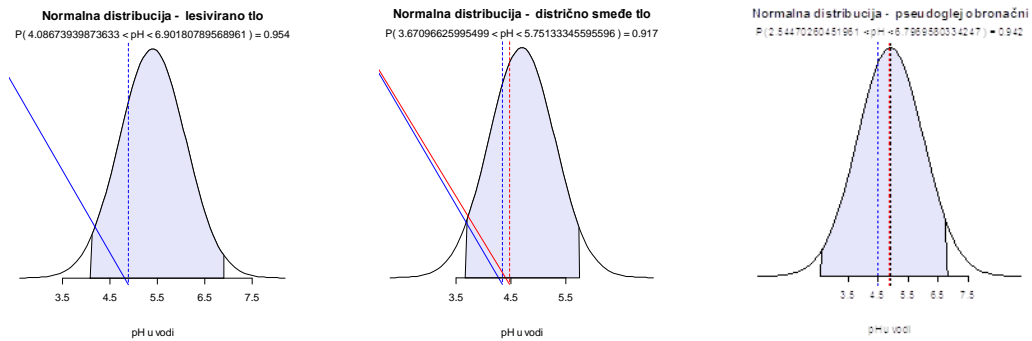
U prosjeku, na istraživanim je uzorcima utvrđena jako kisela reakcija tla (pH (n - KCl) < 4,5). Najniže vrijednosti (pH (KCl) oko 3,5) utvrđene su u organskom površinskom horizontu na predjelu Zagrebačka gora, dok su u donjim mineralnim horizontima vrijednosti pH nešto više; pH(II) = 7,41, pH(III) = 7,42 (slika 6.13.).

**Tablica 6.13.** Osnovna kemijska obilježja analiziranih uzoraka prema lokalitetima

| Oznaka uzorka  | Dub.  | pH               |        | N<br>g/kg | Humus<br>g/kg | C<br>g/kg | C<br>N |
|----------------|-------|------------------|--------|-----------|---------------|-----------|--------|
|                |       | H <sub>2</sub> O | 1M KCl |           |               |           |        |
| Doljani        | 0-15  | 4,89             | 3,70   | 2,1       | 53,9          | 31,3      | 14,90  |
| Doljani        | 15-30 | 4,98             | 3,91   | 1,3       | 27,1          | 15,8      | 12,15  |
| G. Kupčina JS  | 0-15  | 4,87             | 3,85   | 1,1       | 34,3          | 19,9      | 18,09  |
| G. Kupčina JS  | 15-30 | 5,24             | 3,97   | 0,8       | 18,8          | 10,9      | 13,63  |
| G. Kupčina 11b | 0-15  | 4,49             | 3,68   | 1,1       | 37,4          | 21,7      | 19,73  |
| G. Kupčina 11b | 15-30 | 4,82             | 3,88   | 0,9       | 25,1          | 14,6      | 16,23  |
| G. Kupčina 12g | 0-15  | 4,90             | 3,86   | 1,3       | 42,8          | 24,9      | 19,15  |
| G. Kupčina 12g | 15-30 | 5,22             | 4,00   | 0,9       | 22,5          | 13,1      | 14,56  |
| Bistra 27c PZ  | 0-15  | 4,48             | 3,52   | 5,3       | 144,8         | 84,2      | 15,89  |
| Bistra 27c PZ  | 15-30 | 4,60             | 3,65   | 2,3       | 67,2          | 39,1      | 17,00  |
| Bistra 27c JS  | 0-15  | 4,35             | 3,52   | 4,0       | 110,3         | 64,1      | 16,03  |
| Bistra 27c JS  | 15-30 | 4,60             | 3,76   | 1,4       | 40,7          | 23,7      | 16,93  |

**Slika 6.13.** Reakcija tla (pH n - KCl) na istraživanim pokusnim plohama (O - „Doljani“, J - „Gornja Kupčina“, Z - „Bistranska gora“)

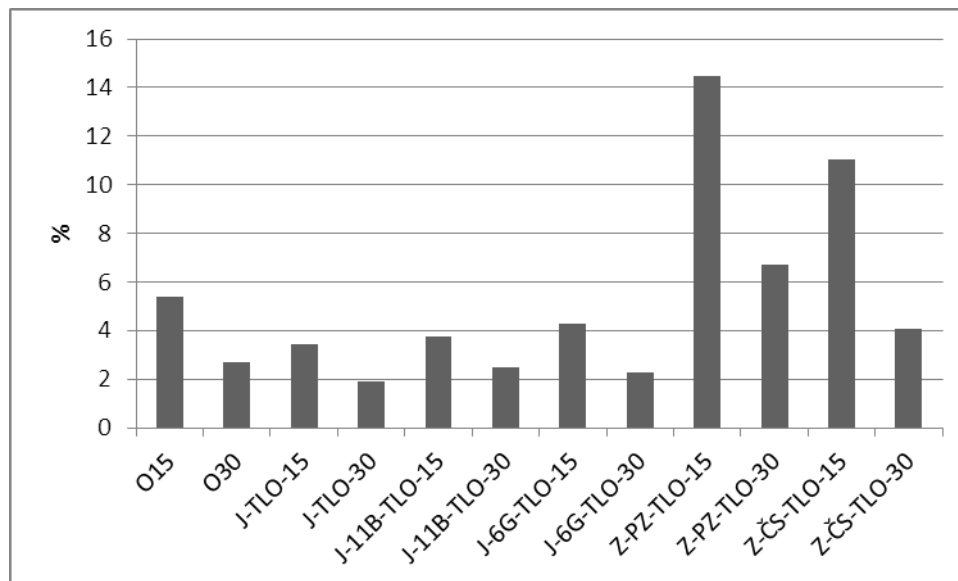
Na slici 6.14. prikazani su rezultati statističke usporedbe srednjih pH-vrijednosti (u vodi) za analizirane uzorke tla s normalnom distribucijom uzoraka odgovarajućih tipova tala za područje Republike Hrvatske. Uočava se da nema statistički značajne razlike između dobivenih vrijednosti reakcije tla (u vodi) uzoraka na istraživanim lokalitetima s reakcijom odgovarajućih tipova tala. Također se uočava da se vrijednosti analiziranih uzoraka nalaze u blizini srednjih vrijednosti odgovarajućih tipova tala.



**Slika 6.14.** Usporedba dobivene pH-vrijednosti (u vodi) na istraživanim lokalitetima s normalnom distribucijom podataka za odgovarajuće tipove tala u Republici Hrvatskoj

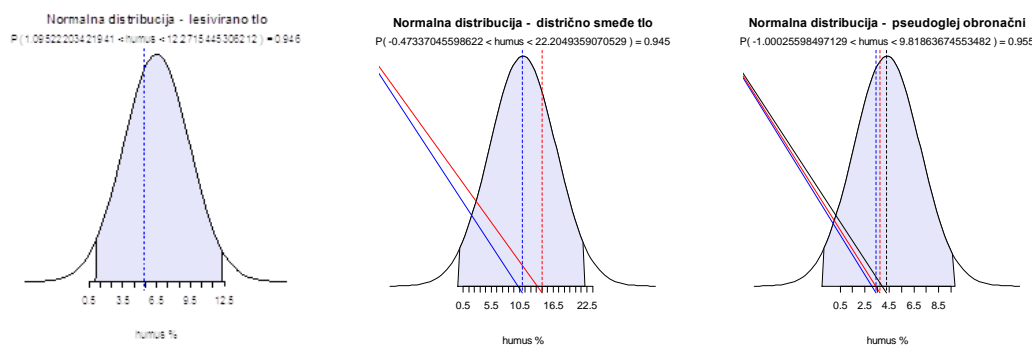
### 6.3.2. Organska tvar (humus)

Sadržaj organskog ugljika kod organskih horizonata šumskih tala nalazi se unutar raspona između 200 do 500 g/kg, što u postotnim odnosima iznosi između 40 – 100 %. Humus označuje krajnji stadij razlaganja organske tvari u kojoj dominiraju stabilne komponente. Organski se ugljik dobiva računskom transformacijom iz humusa s pomoću faktora 1,72. Prema provedenim analizama, utvrđen je vrlo visok sadržaj humusa u organskim slojevima (8,62 %), na osnovi čega tla možemo svrstati u jako humozna.



**Slika 6.15.** Organska tvar (humus) na istraživanim pokusnim plohama (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

Na slici 6.16. prikazani su rezultati statističke usporedbe srednjih vrijednosti humusa analiziranih uzoraka s normalnom distribucijom uzoraka odgovarajućih tipova tala za područje Republike Hrvatske. Uočava se da nema statistički značajne razlike između dobivenih vrijednosti u analiziranim uzorcima od vrijednosti humusa za iste tipove tala Republike Hrvatske. Ni kod vrijednosti humusa nema većeg odstupanja vrijednosti analiziranih uzoraka od srednjih vrijednosti odgovarajućih tipova tala u Republici Hrvatskoj.

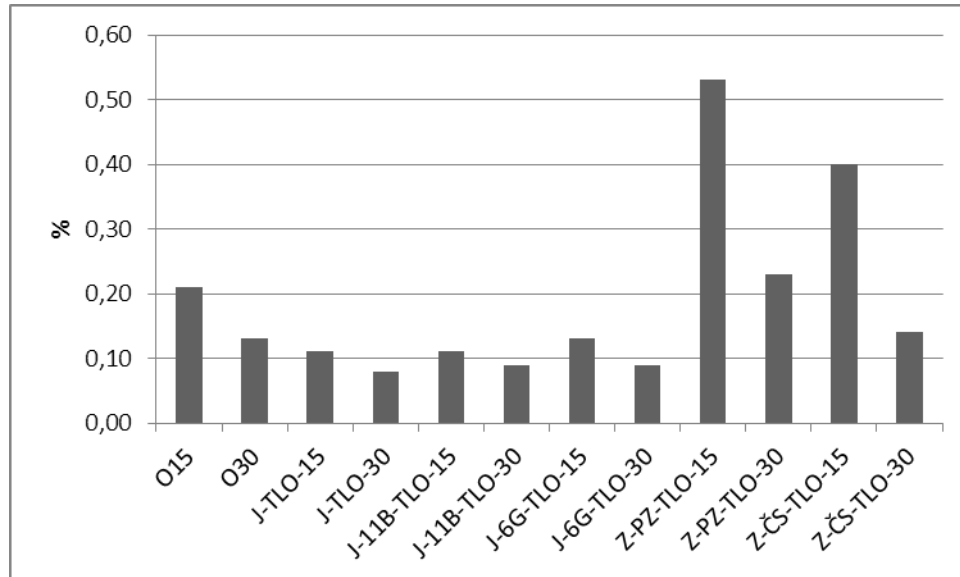


**Slika 6.16.** Usporedba dobivene vrijednosti humusa na istraživanim lokalitetima s normalnom distribucijom podataka za odgovarajuće tipove tala u Republici Hrvatskoj



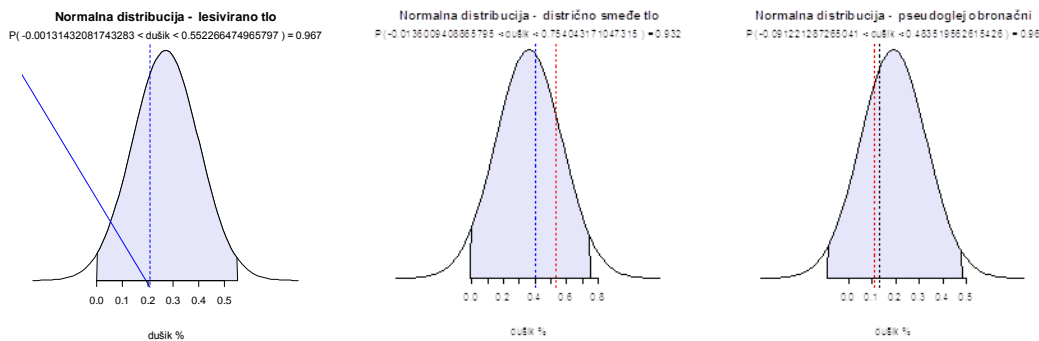
## 6.3.3. Ukupni dušik

Vrijednosti za ukupni dušik variraju ovisno o lokalitetu. Najniže su vrijednosti utvrđene u kulturama na lokalitetu „Doljani“, a najviše na lokalitetu „Bistranska gora“ (slika 6.17.). Vrijednosti ukupnog dušika po lokalitetima, na dubinama 0 - 15 i 15 - 30 cm, prikazane su u tablici 6.13.



**Slika 6.17.** Ukupni dušik na istraživanim pokusnim plohama (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

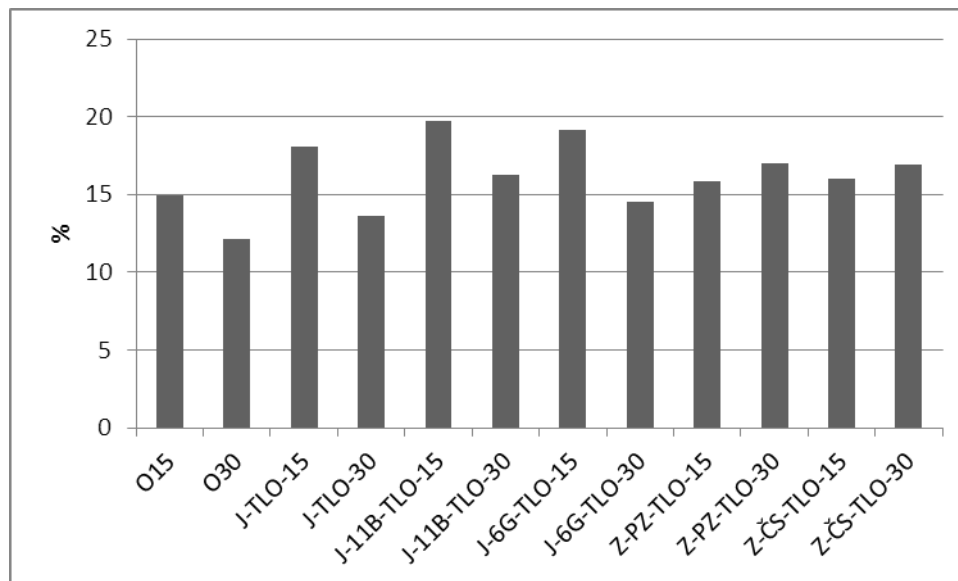
Na slici 6.18. prikazani su rezultati statističke usporedbe srednjih vrijednosti ukupnog dušika analiziranih uzoraka s normalnom distribucijom uzoraka odgovarajućih tipova tala za područje Republike Hrvatske. Uočava se da nema statistički značajne razlike između dobivenih vrijednosti u analiziranim uzorcima od vrijednosti humusa za iste tipove tala Republike Hrvatske. Ni kod ovog pedološkog pokazatelja vrijednosti ne pokazuju veće odstupanje od srednjih vrijednosti ukupnog dušika u odgovarajućim tipovima tala u Republici Hrvatskoj.



**Slika 6.18.** Usporedba dobivene vrijednosti dušika na istraživanim lokalitetima s normalnom distribucijom podataka za odgovarajuće tipove tala u Republici Hrvatskoj

#### 6.3.4. Odnos C/N

Srednja vrijednost odnosa C/N uzoraka na dubini do 15 cm iznosi 17,3 te 15,8 na dubini od 15 do 30 cm mineralnog dijela tla. Minimalne su vrijednosti utvrđene na lokalitetu „Doljani“ (lesivirano tlo na praporu) (slika 6.19.). Ovdje u gornjem mineralnom dijelu tla do dubine od 15 cm vrijednosti odnosa C/N iznose 14,9, a u dubljem sloju od 15 do 30 cm tek 12,15. Može se reći da je ovakav odnos sasvim pri donjoj granici odnosa C/N za šumska tla. Najveći odnos C/N utvrđen je na lokalitetu „Gornja Kupčina“ gdje je u gornjem dijelu (0 – 15 cm) utvrđena vrijednost 19,73, a u donjem sloju (15 – 30 cm) 16,23. Slične vrijednosti donjega sloja utvrđene su i na lokalitetu „Bistranska gora“.



**Slika 6.19.** Odnos C/N na istraživanim pokusnim ploham (O – Doljani, J – Gornja Kupčina, Z – Bistranska gora)

### 6.3.5. Mehanički sastav tala na istraživanim lokalitetima

U tablici 6.14. prikazan je mehanički sastav uzoraka tla na pokusnim ploham uoči sjetve i sadnje. Tekstura tala na istraživanim lokalitetima uglavnom je pjeskovita ilovača te ilovasti pijesak i pijesak na dubini od 30 cm. Iznimke su lokalitet „Gornja Kupčina”, gdje je visoki udio praha (80 %), te dio pokusnih ploha na lokalitetu „Bistranska gora”, gdje je utvrđeno gotovo 100 % pijeska.

**Tablica 6.14.** Mehanički sastav uzoraka tala na pokusnim ploham prikupljenih neposredno prije sadnje i sjetve (zima 2009./2010.)

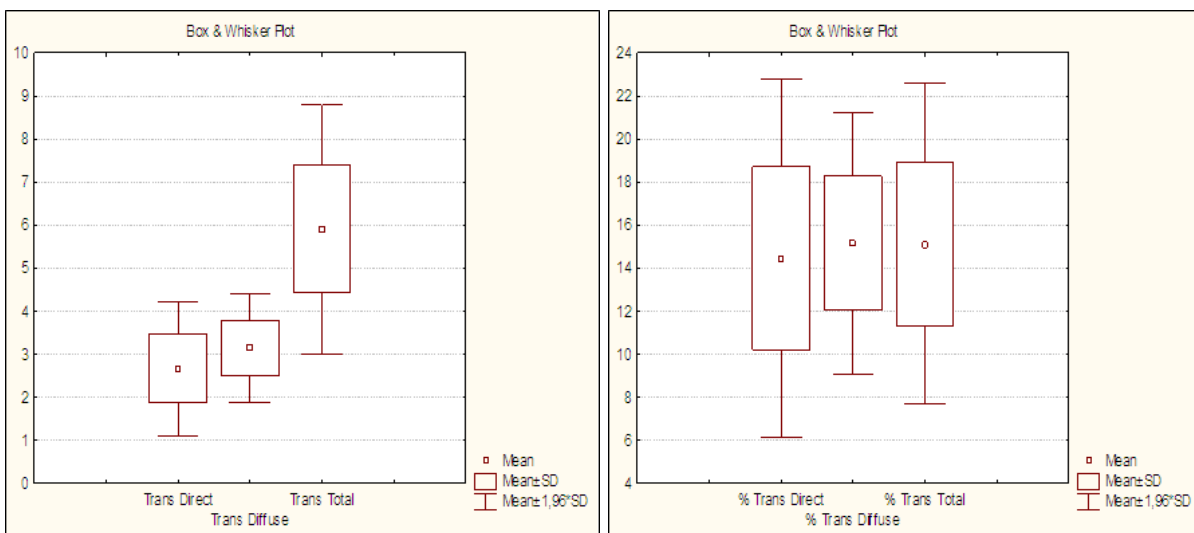
| Šifra uzorka | Lokalitet    | Dubina cm | PIJESAK<br>0,063mm-2 mm | PRAH<br>0,002mm-0,063mm | GLINA<br><0,002mm | Teksturna oznaka   |
|--------------|--------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| O-TLO-15     | Ozalj        | 15        | 59,95                   | 40,00                   | 0,05              | pjeskovita ilovača |
| O-TLO-30     | Ozalj        | 30        | 79,98                   | 20,00                   | 0,02              | ilovasti pijesak   |
| J-TLO-15     | Jastrebarsko | 15        | 19,99                   | 80,00                   | 0,01              | prah               |
| J-TLO-30     | Jastrebarsko | 30        | 19,99                   | 80,00                   | 0,01              | prah               |
| Z-PZ-TLO-15  | Zagreb       | 15        | 69,96                   | 30,00                   | 0,04              | pjeskovita ilovača |
| Z-PZ-TLO-30  | Zagreb       | 30        | 59,98                   | 40,00                   | 0,02              | pjeskovita ilovača |
| Z-ČS-TLO-15  | Zagreb       | 15        | 59,98                   | 40,00                   | 0,02              | pjeskovita ilovača |
| Z-ČS-TLO-30  | Zagreb       | 30        | 99,99                   | 0,00                    | 0,01              | pijesak            |

#### 6.4. Svjetlosni uvjeti tijekom primjene supstitucijske metode pod zastorom krošanja stabala kulture (lokalitet „Bistranska gora“)

Apsolutne vrijednosti prosječnoga ukupnog svjetla u 2011. godini kreću se od 3,420 do 8,860 Mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (tablica 6.15.). Apsolutne vrijednosti prosječnoga izravnog i prosječnoga difuznog svjetla dvostruko su manje od ukupnog. Dedesetpetpostotni interval pouzdanosti za sve vrijednosti prikazan je na slici 6.20. Analiza je napravljena na temelju 18 fotografija, što uključuje po jednu fotografiju za svako tretiranje i ponavljanje. Usporedbom pojedinih sastavnica ukupnoga svjetla uočavaju se veće srednje vrijednosti za difuzno svjetlo, koje iznose 3,141 Mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

**Tablica 6.15.** Deskriptivna statistika apsolutnih vrijednosti prosječnoga svjetla 2011. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

|  | N  | Aritmetička sredina (Mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | Minimum (Mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | Maksimum (Mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) | St. devijacija (Mol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ) |
|--|----|--|--|---|---|
| Apsolutna vrijednost izravnoga svjetla | 18 | 2,664444   | 1,630000                                       | 4,560000  | 0,794890  |
| Apsolutna vrijednost difuznoga svjetla | 18 | 3,141667   | 1,790000                                       | 4,370000  | 0,647323  |
| Apsolutna vrijednost ukupnoga svjetla  | 18 | 5,905000   | 3,420000                                       | 8,860000  | 1,482915  |

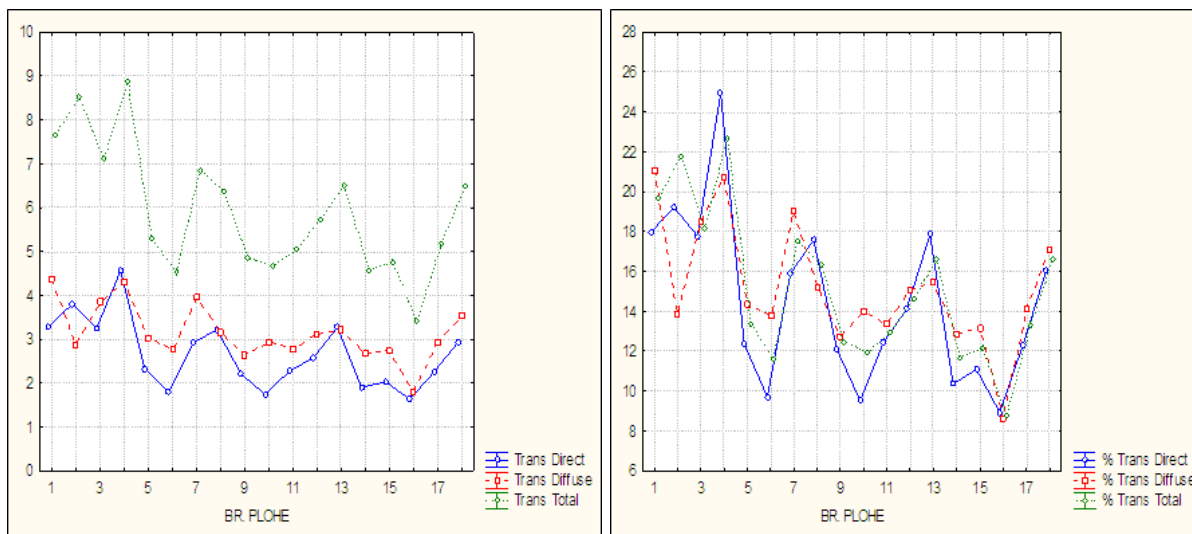


**Slika 6.20.** 95 %-ni interval pouzdanosti za apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2011. godine

Relativne vrijednosti prosječnoga ukupnog svjetla u 2011. godini kreću se od 8,76 % do 22,69 % (tablica 6.16.). Relativne vrijednosti prosječnoga izravnog i prosječnoga difuznog svjetla približno su jednake vrijednostima ukupnoga svjetla, iako izravno svjetlo ima nešto manje vrijednosti (14,45 %). Devedesetpetpostotni interval pouzdanosti za sve relativne vrijednosti prikazan je na slici 6.20.

**Tablica 6.16.** Deskriptivna statistika relativnih vrijednosti prosječnoga svjetla 2011. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

|   | N  | Aritmetička sredina (%) | Minimum (%) | Maksimum (%) | St. devijacija (%) |
|---|----|-------------------------|-------------|--------------|--------------------|
| Relativna vrijednost izravnoga svjetla  | 18 | 14,452                  | 8,93        | 24,94        | 4,244305           |
| Relativna vrijednost direktnoga svjetla | 18 | 15,158                  | 8,62        | 21,06        | 3,104632           |
| Relativna vrijednost ukupnoga svjetla   | 18 | 15,112                  | 8,76        | 22,69        | 3,802282           |

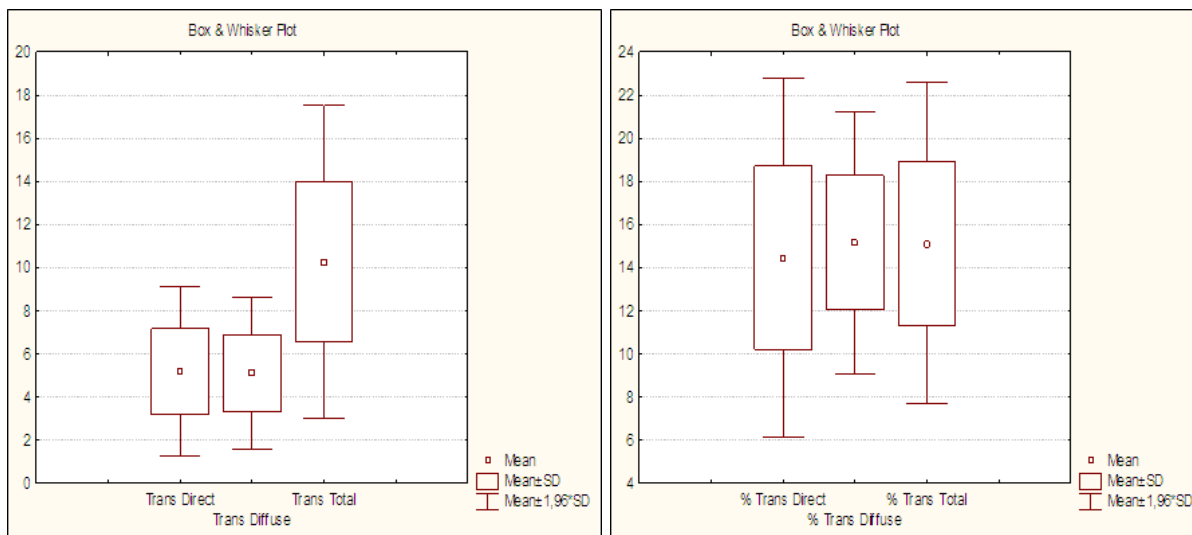


**Slika 6.21.** Apsolutne (desno) i relativne (lijevo) vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2011. godine po pojedinim pokusnim ploham

Apsolutne vrijednosti prosječnoga ukupnog svjetla u 2013. godini kreću se od 4,86 do 14,75  $\text{Mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (tablica 6.15.). Apsolutne vrijednosti prosječnoga izravnog i prosječnoga difuznog svjetla i u ovoj su godini dvostruko manje od ukupnog. Devedesetpetpostotni interval pouzdanosti za sve vrijednosti prikazan je na slici 6.22. I u ovoj godini primijenjena je ista metodologija snimanja te je analiza napravljena na temelju istog broja fotografija (18). U 2013. godini povećavaju se apsolutne vrijednosti izravnoga svjetla koje su one veće od difuznog 5,16  $\text{Mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ).

**Tablica 6.17.** Deskriptivna statistika apsolutnih vrijednosti prosječnoga svjetla 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

|  | N  | Aritmetička sredina ( $\text{Molm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) | Minimum ( $\text{Molm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) | Maksimum ( $\text{Molm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) | St. devijacija ( $\text{Molm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) |
|--|----|---|---|--|--|
| Apsolutna vrijednost izravnoga svjetla | 18 | 5,16056   | 2,010000                                    | 7,73000                                      | 2,003117   |
| Apsolutna vrijednost difuznoga svjetla | 18 | 5,08778   | 2,440000                                    | 7,54000                                      | 1,788412   |
| Apsolutna vrijednost ukupnoga svjetla  | 18 | 10,24722  | 4,860000                                    | 14,75000                                     | 3,712071   |



**Slika 6.22.** 95 %-tni interval pouzdanosti za apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2013. godine po pojedinim pokusnim ploham

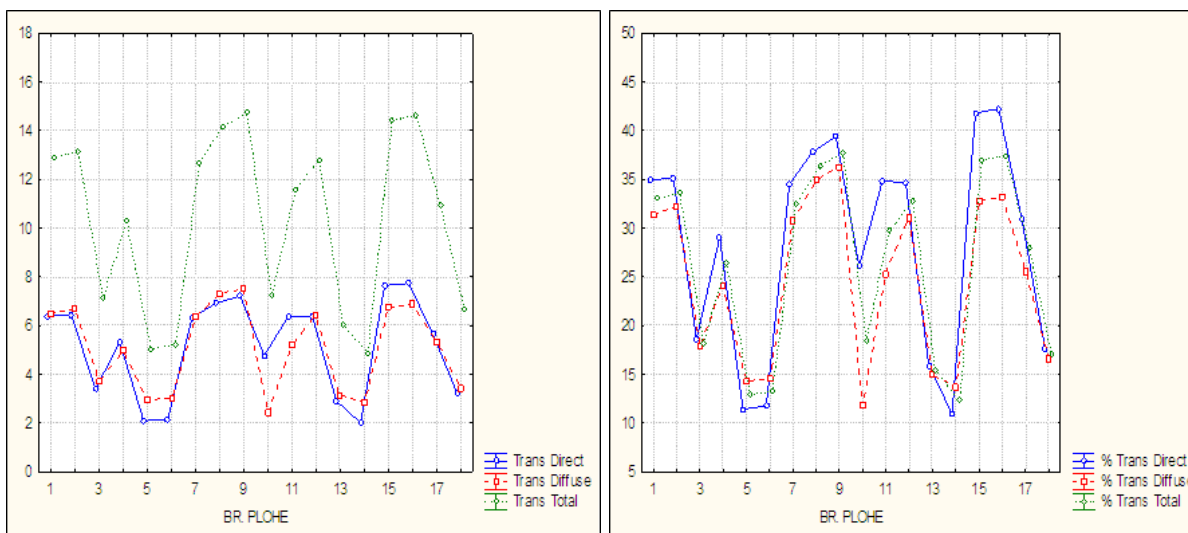
Relativne vrijednosti prosječnoga ukupnoga svjetla u 2011. godini kreću se od 12,43 % do 37,77 % (tablica 6.16.). Relativne vrijednosti prosječnoga izravnoga svjetla veće su i od

vrijednosti ukupnog i vrijednosti difuznog svjetla. Vrijednosti relativnog difuznog svjetla nešto su manje od relativnih vrijednosti ukupnoga svjetla. Devedesetpetpostotni interval pouzdanosti za sve relativne vrijednosti prikazan je na slici 6.22.

**Tablica 6.18.** Deskriptivna statistika relativnih vrijednosti prosječnoga svjetla 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina“

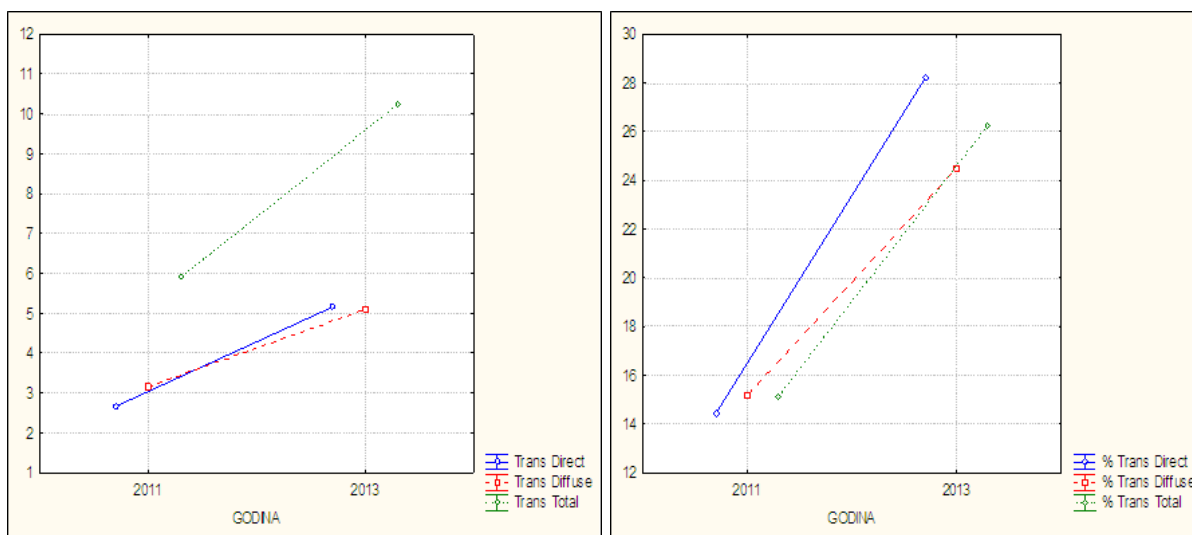
|   | N  | Aritmetička sredina (%) | Minimum (%) | Maksimum (%) | St. devijacija (%) |
|---|----|-------------------------|-------------|--------------|--------------------|
| Relativna vrijednost izravnog svjetla   | 18 | 28,199                  | 10,96       | 42,25        | 10,95123           |
| Relativna vrijednost direktnoga svjetla | 18 | 24,512                  | 11,77       | 36,33        | 8,61802            |
| Relativna vrijednost ukupnoga svjetla   | 18 | 26,239                  | 12,43       | 37,77        | 9,50697            |

Slika 6.23. prikazuje apsolutne i relativne vrijednosti svih sastavnica svjetla po pojedinim pokusnim ploham, tj. za sva tretiranja i ponavljanja u pokusu. Uočava se znatno kolebanje svih snimljenih vrijednosti po pojedinim pokusnim ploham bez obzira na ujednačene uvjete koji su zabilježeni tijekom 2011. godine. Također se uočava kako su najveće vrijednosti izravnoga svjetla zabilježene na većini pokusnih ploha.



**Slika 6.23.** Apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2013. godine po pojedinim pokusnim ploham

Na slici 6.24. uočava se višestruko povećanje vrijednosti svih komponenata svjetla u četvrtom vegetacijskom razdoblju nakon osnivanja pokusa (2013. godini) u usporedbi sa stanjem u drugome vegetacijskom razdoblju (2011. godina). To povećanje osobito je naglašeno kod relativnih vrijednosti svih sastavnica svjetla. Uočava se povećanje apsolutnih vrijednosti izravnoga svjetla u 2013. godini u odnosu prema 2011. godini, dok su relativne vrijednosti ove komponente u 2013. veće i od relativnih vrijednosti difuznog i relativnih vrijednosti ukupnoga svjetla.



**Slika 6.24.** Povećanje apsolutne i relativne vrijednosti prosječnoga svjetla snimljene u kolovozu 2011. i 2013. godine po pojedinim pokusnim ploham

### 6.5. Fitocenološko snimanje

Područje na kojemu su postavljene pokusne plohe nalazi se u zoni šume hrasta kitnjaka i pitomog kestena (*Quercus - Castaneetum sativae* Ht. 1983). Osnovna obilježja pokusnih ploha prikazana su u tablici 6.19. Ploha na Žumberku u G.j. Sušica nalazi se u prijelaznom području između kolinskog pojasa (šuma hrasta kitnjaka) i brdskog pojasa (šuma bukve). Ploha se nalazi u okruženju mješovitih šuma pitomog kestena s prasećim zeljem (*Aposeridi foetidae - Castaneetum sativae* Medak 2011) koje rastu na dubokim i humoznim tlima, najčešće dubokim luvisolima, povrh silikatnoga matičnog supstrata, na visinama 200 – 600 metara. Dolaze uglavnom na sjevernim i istočnim ekspozicijama, na blaže nagnutim ili zaravnjenim terenima.



**Tablica 6.19.** Osnovna obilježja pokusnih ploha na lokalitetu „Doljani“

|   |                                   | Metoda supstitucije                         | Nadmorska visina | Ekspozicija | Inklinacija |
|---|-----------------------------------|---|------------------|-------------|-------------|
| 1 | G. j. „Sušica”, lokalitet Doljani | jednostavna supstitucija (latinski kvadrat) | 474 – 483 m      | S/SZ/Z      | 15 – 30°    |

Fitocenološka snimka napravljena je u mlađoj panjači pitoma kestena s prasećim zeljem gustog obrasta, na nadmorskoj visini od 500 metara, sjeveroistočne/istočne ekspozicije i nagiba od 15°. U sloju drveća, kao što je i uobičajeno u mlađim kestenovim panjačama prevladava pitomi kesten, a primiješani su gorski brijest (*Ulmus glabra* Huds.), gorski javor (*Acer pseudoplatanus* L.), lipa (*Tilia cordata* Mill.) te trepetljika (*Populus canescens* (Ait.) Sm.).

U sloju grmlja se, osim vrsta iz sloja drveća, pojavljuju lijeska (*Corylus avellana* L.), svib (*Cornus sanguinea* L.), grab (*Carpinus betulus* L.), klen (*Acer campestre* L.), obični jasen (*Fraxinus excelsior* L.) glog (*Crataegus monogyna* L.), ruža (*Rosa arvensis* L.), brekinja (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz.) te smreka.

Sloj prizemnog rašća slabo je razvijen s obzirom na uvjete slaboga svjetla. Bez obzira na slabu pokrovnost, pojavljuje se većina vrsta tipičnih za zajednicu: *Aposeris foetida*, *Circea lutetiana*, *Galeopsis tetrahit*. Od ilirskih vrsta dolaze: *Epimedium alpinum*, *Primula vulgaris*, *Aremonia agrimonoides*, *Hacquetia epipactis*, a od ostalih mezofilnih vrsta iz reda *Fagetalia*: *Dryopteris filix mas*, *Carex sylvatica*, *Scrophularia nodosa*, *Athyrium filix femina*, *Polygonatum multiflorum*, *Asarum europaeum*. Od ostalih dolaze još *Asarum europaeum*, *Hypericum montanum*, *Rubus hirtus*, *Fragaria vesca*, *Gentiana asclepiadea*, *Centaurium erythreia*, *Stachys sylvatica* i dr.

Na pokusnim plohama ostavljenima prirodnom procesu razvoja (plohe *Sukcesija*), osim pionirskih drvenastih vrsta kao što su breza (*Betula pendula* Roth.), trepetljika (*Populus tremula* L.), iva (*Salix caprea* L.) i korovnih (*Rubus fruticosus* L.), pojavljuju se brojne drvenaste vrste iz mješovitih šuma pitomog kestena: *Castanea sativa* Mill., *Carpinus betulus* L., *Quercus petraea* (Matt.) Leibl., *Fagus sylvatica* L., *Acer pseudoplatanus* L., grmolike *Corylus avellana* L., *Crataegus monogyna* L., *Frangula alnus* Mill., *Rubus idaeus* L., *Rosa canina* L. te, naravno, pomladak smreke.

Na plohama su se, bez obzira na obilje svjetla, zadržale vrste tipične za šumske uvjete: *Epimedium alpinum*, *Salvia glutinosa*, *Peucedanum cervaria*, *Helleborus atrorubens*, *Mycelis muralis*, *Gentiana asclepiadea*, *Carex sylvatica*, *Calamintha vulgaris*, *Brachypodium sylvaticum*, *Veronica officinalis*, *Oxalis acetosela*. Pokrovnošću ipak dominiraju ruderalne i vrste tolerantne na stres kao što su: *Pteridium aquilinum*, *Eupatorium canabinaum*, *Clematis vitalba*, *Cirsium vulgare*, *Hypericum perforatum*, *Calamagrostis epigeios*, *Erigeron annuus* i sl.

Posebno je zanimljivo obilno pojavljivanje atlantskoga flornog elementa, vrste *Teucrium scorodonia*, kojoj je istočna granica rasprostranjenosti u zapadnoj Hrvatskoj te se u nas smatra jako ugroženom vrstom. Inače je karakteristična vrsta acidofilnih kestenovih šuma Apenina.

U neposrednoj blizi pokusnih ploha osnovanih u kulturi obične smreke na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“ utvrđena je šumska zajednica hrasta kitnjaka i običnog graba (*As. Epimedio - Carpinetum betuli*, /Horvat 1938/ Borhidi 1963). Tipične sastojine razvijaju se na blagim padinama i potočnim dolinama, tj. na mjestima gdje se deponira zemljišni i organski materijal s viših položaja terena nanošen erozivnim procesima. Iz takvoga reljefnog položaja i svojstva tla proizlazi dobra opskrbljenost vodom u tlu, što omogućuje pridolazak brojnih biljnih vrsta. Karakteristična vrsta asocijacije u sloju drveća jest hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) i obični grab (*Carpinus betulus* L.), a pridružuju se i divlja trešnja (*Prunus avium* L.), klen (*Acer campestre* L.) i velelisna lipa (*Tilia platyphyllos* Scop.). Sloj grmlja je obilan: glogovi (*Crataegus* sp.), lijeska (*Corylus avellana* L.), likovac (*Daphne mezereum* L.), širokolisna veprina (*Ruscus hypoglossum* L.), kurika (*Euonymus europaeus* L.).

U prizemnom rašću dominiraju proljetnice: šumarica (*Anemone nemorosa* L.), jaglac (*Primula vulgaris* Huds.), zdravičice (*Sanicula europaea* L.), crijevac (*Stellaria holostea* L.) i dr.

Na pokusnim plohama na lokalitetu Gornja Kupčina nije obavljeno fitocenološko snimanje jer se u neposrednoj blizini ne nalaze prirodne šumske sastojine, već se pokusna ploha nalazi u okruženju šumskih kultura obične smreke.

S obzirom na nadmorsku visinu i konfiguraciju terena (tablica 6.20), potencijalna prirodna vegetacija odgovara najvjerojatnije šumi hrasta kitnjaka i običnog graba (*Carpino betuli - Quercetum roboris* Rauš 1971). Sukcesijske plohe na pokusu gusto su bile obrasle korovnom vegetacijom i pionirskim vrstama poput vrba, topola, trušljike...

Također se uz rub smrekove kulture pojavljuju higrofilne vrste, koje su češće elementi vlažnih livada nego šuma: *Cardamine amara*, *C. pratensis*, *Ranunculus acris*.

**Tablica 6.20.** Osnovna obilježja pokusnih ploha na lokalitetu „Gornja Kupčina“

|   | Metoda supstitucije   | Nadmorska visina | Ekspozicija | Inklinacija |
|---|---|------------------|-------------|-------------|
| G. j. „Jastrebarske prigorske šume”, lokalitet Gornja Kupčina | jednostavna supstitucija (latinski kvadrat)/ supstitucija pod zastorom (latinski kvadrat) | 170 – 175 m      | JZ          | 0 – 10°     |

Pokusne plohe na Medvednici, G. j. „Bistranska gora” nalaze se u pojasu panonskih šuma bukve i jele s brdskom vlasuljom (*Festuco drymeiae - Abietetum* Vukelić et Baričević 2007), na nadmorskoj visini 700 – 750 m (tablica 6.21.). Na Medvednici ova zajednica raste u rasponu 600 – 1000 m n. m., najčešće na dubokim distričnim tlima na silikatnoj podlozi škriljevaca i granita, na različitim ekspozicijama i nagibima.

Edifikatori ove zajednice jesu bukva (*Fagus sylvatica* L.) i jela (*Abies alba* Mill.), a ostale značajne vrste u sloju drveća jesu gorski javor (*Acer pseudoplatanus* L.) i mliječ (*Acer platanoides* L.), obični jasen (*Fraxinus excelsior* L.) te gorski brijest (*Ulmus glabra* Huds.), dok u usporedbi s dinarskim bukovo-jelovim šumama izostaje obična smreka.

**Tablica 6.21.** Osnovna obilježja pokusnih ploha na lokalitetu „Bistranska gora“

|                            | Metoda supstitucije  | Nadmorska visina | Ekspozicija | Inklinacija |
|----------------------------|--|------------------|-------------|-------------|
| 1. G. j. „Bistranska gora“ | jednostavna supstitucija (latinski kvadrat)                          | 706 – 711 m      | J/JI        | 15 – 25°    |
| 2. G. j. „Bistranska gora” | supstitucija pod zastorom (latinski kvadrat)                         | 729 – 740 m      | S/SZ        | 10 – 30°    |
| 3. G. j. "Bistranska gora" | prirodna klimatogena sastojina (pokusne plohe u trima ponavljanjima) | 756 m            | S/SI        |             |

Florni sastav u prirodnoj sastojini u blizini pokusnih ploha potpuno odgovara normalno razvijenoj panonskoj šumi bukve i jele s brdskom vlasuljom. U sloju drveća podjednako su zastupljene obična bukva i obična jela, a primiješani su gorski javor (*Acer pseudoplatanus* L.), obični grab (*Carpinus betulus* L.) te pitomi kesten (*Castanea sativa* Mill.).

U sloju grmlja, koji pokriva i do 50 % površine, uz bukvu i jelu, rastu lijeska (*Corylus avellana* L.), obični grab (*Carpinus betulus* L.), crna bazga (*Sambucus nigra* L.), pitomi kesten (*Castanea sativa* Mill.), malina (*Rubus idaeus* L.), a mjestimično je prisutan i pomladak smreke.

Sloj prizemnog rašća bogat je vrstama tipičnima za zajednicu i odgovara subasocijaciji *festucetosum drymeiae*, koja se razvija na platoima, hrptovima te plićim i sušim tlima. Uz brdsku vlasulju (*Festuca drymeia*) dolaze i *Doronicum austriacum*, *Petasites albus* (razlikovne vrste prema bukovim zajednicama savsko-dravskog međurječja), *Vaccinium myrtillus*, *Rubus hirtus*, *Mercurialis perennis*, *Gentiana asclepiadea*, *Luzula luzuloides*, *Glechoma hirsuta*, *Prenanthes purpurea*, *Solidago virga - aurea*, *Lilium martagon*, *Carex sylvatica*, *Cardamine bulbifera*, *Salvia glutinosa* i dr.

Snimanje flornog sastava na plohama *Sukcesija* (PZ) i *Sukcesija* (ČS) pokazalo je kako se na plohama pod zastorom zadržao mnogo veći broj vrsta iz prizemnog rašća, što je na plohama čiste sječe onemogućilo agresivan rast drvenastih vrsta poput *Sambucus nigra* L., *S. recemosa* L., *Salix caprea* L., *Rubus idaeus* L., *Corylus avellana* L., *Laburnum anagyroides* Med. i dr. Tako se na plohama sukcesije pod čistom sječom od zeljastih vrsta pojavljuju tek *Festuca drymeia*, *Urtica dioica*, *Galium aparine*, *Prenanthes aparine*, *Astragalus glycyphyllus*, *Hypericum perforatum*, *Galeopsis* sp.

Na plohama pod zastorom krošanja zabilježeno je više od 30 zeljastih vrsta biljka od kojih tek nekoliko „nešumskih“ vrsta (*Taraxacum officinale*, *Convolvulus arvensis*, *Erigeron annuus*, *Silene dioica*, *Poa annua*) koje za razvoj traže uvjete jačega svjetla.

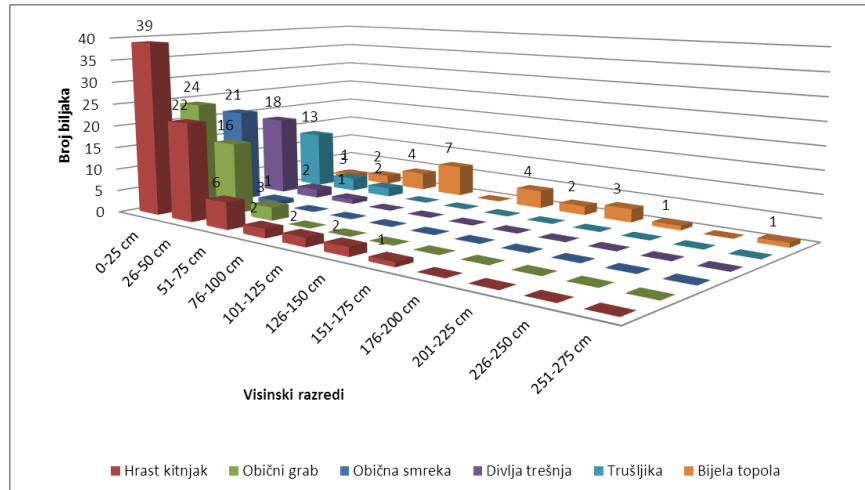
Osim vrsta tipičnih za zajednicu (*Festuca drymeia*, *Doronicum austriacum*, *Prenanthes purpurea*, *Senecio ovatus*, *Mycelis muralis*, *Cardamine bulbifera*, *Cardamine trifolia*, *Knautia drymeia*, *Anemone nemorosa*, *Polygonatum multiflorum*, *Anthyrium filix - femina*, *Scrophularia nodosa* ...) pojavljuje se i niz acidofita: *Gentiana asclepiadea*, *Luzula luzuloides*, *Veronica officinalis*, *Hieracium sylvaticum*, *Hieracium racemosum*, *Veronica officinalis*, ali i nitrofiti (*Alliaria petiolata*, *Urtica dioica*, *Impatiens noli - tangere*).

## 6.6. Spontana pojava šumskih vrsta drveća i grmlja

### 6.6.1. Kompozicija vrsta u prirodnoj sukcesiji nakon sušenja obične smreke (čista sječa na maloju površini i sukcesija na rubovima kulture) – lokalitet „Gornja Kupčina“

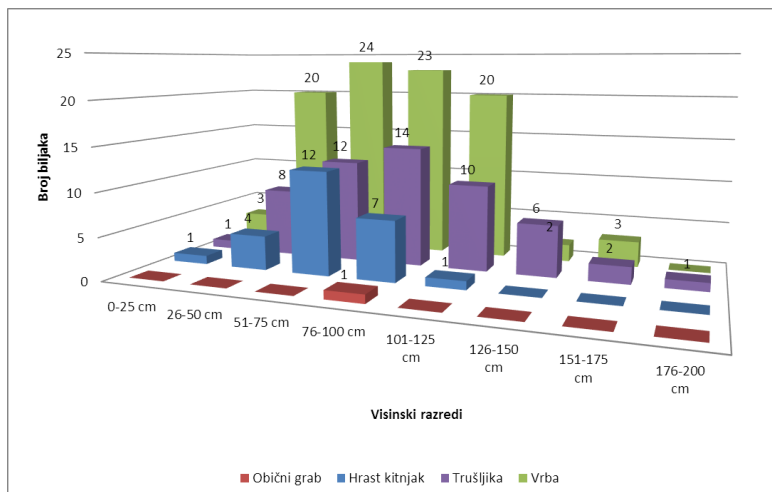
Na slici 6.25. prikazan je broj biljaka najzastupljenijih vrsta drveća na pokusnim plohama prepuštenima prirodnom razvoju vegetacije na rubovima monokulture obične smreke (lokalitet „Gornja Kupčina“) devet godina nakon čiste sječe susjednoga dijela kulture. Najveći broj svih

vrsta drveća u prvom je visinskom razredu (od 0 do 25 cm), a najzastupljenije vrste jesu hrast kitnjak i obični grab koje prevladavaju u prvim trima visinskim razredima (do 75 cm visine). Znatnije udjele na spomenutim pokusnim ploham imaju još obična smreka, divlja trešnja, trušljika i bijela topola. Sve spomenute vrste, osim bijele topole, izuzevši prvi visinski razred (do 25 cm visine), nemaju zamjetan broj biljaka u ostalim visinskim razredima. Bijela topola raspoređena je u visinskim razredima do 275 cm.



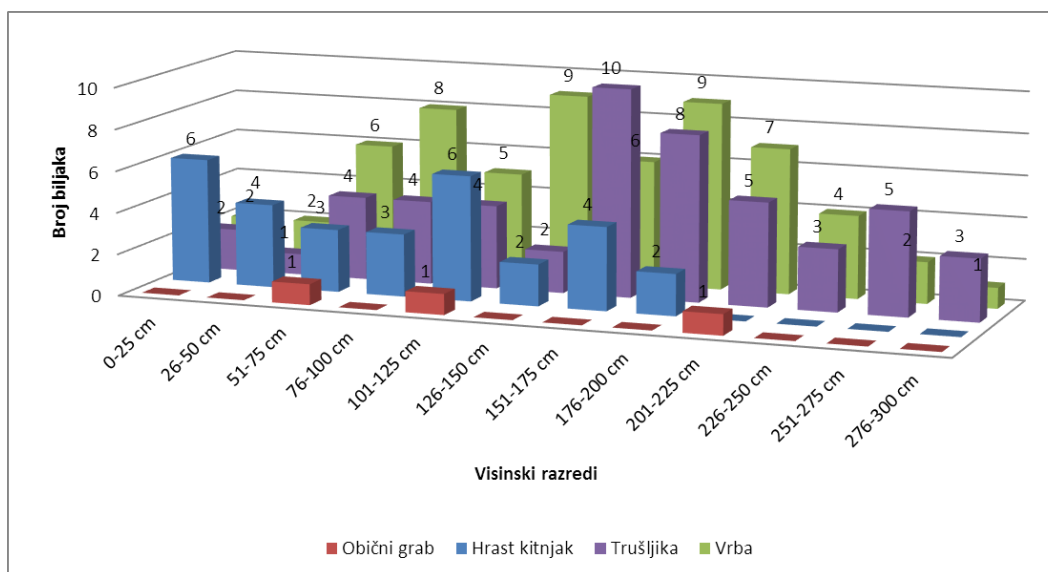
**Slika 6.25.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim ploham na rubovima kulture obične smreke 9 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Na slici 6.26. prikazan je broj biljaka po vrstama drveća koje su se spontano pojavile na pokusnim ploham na kojima je obavljena čista sječa dijela kulture obične smreke šest godina prije. Najveći se broj biljaka uočava u rasponu od 50 do 75 cm visine. Najzastupljenija vrsta jest obična vrba, za kojom slijede trušljika i hrast kitnjak. Vrbe nalazimo do visine od 175 cm.



**Slika 6.26.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama 6 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Gornja Kupčina“

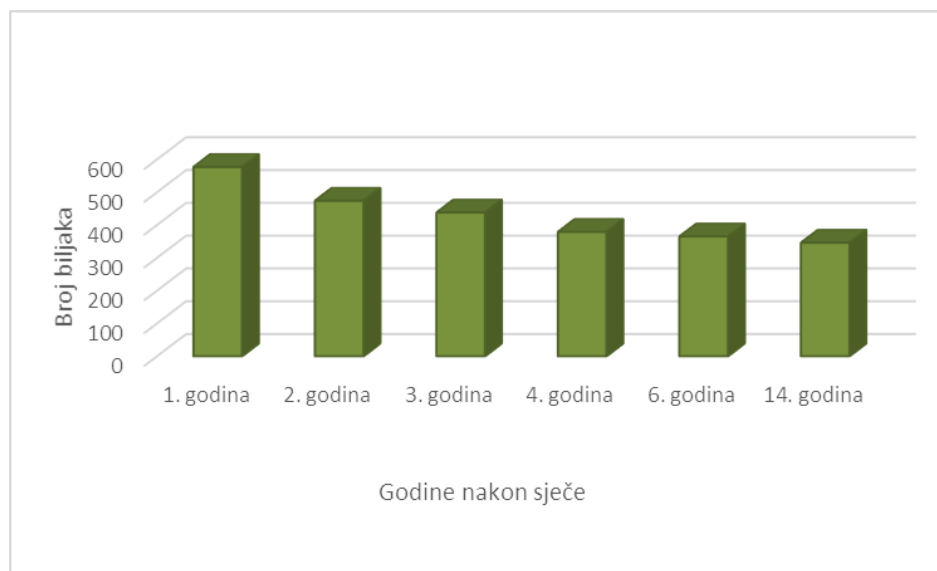
Na istim pokusnim plohama dvije godine poslije (osam godina nakon čiste sječe) (slika 6.27.) biljke sežu do 300 cm visine. U rasponu od 225 do 300 cm pronalazimo vrbe i trušljiku. Ove su vrste najbrojnije u rasponu od 125 do 200 cm visine. Hrast kitnjak pronalazimo do visine od 200 cm, pri čemu se povećava broj biljaka u prvome visinskom razredu (do 25 cm), što upućuje na to da su pojavile nove biljke. Obični se grab tek sporadično pojavljuje na pokusnim plohama.



**Slika 6.27.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama 8 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Gornja Kupčina“

### 6.6.2. Dinamika prirodne sukcesije nakon sušenja monokulture obične smreke (čisti sijek na maloj površini) – kronosekvenca na lokalitetu „Doljani“

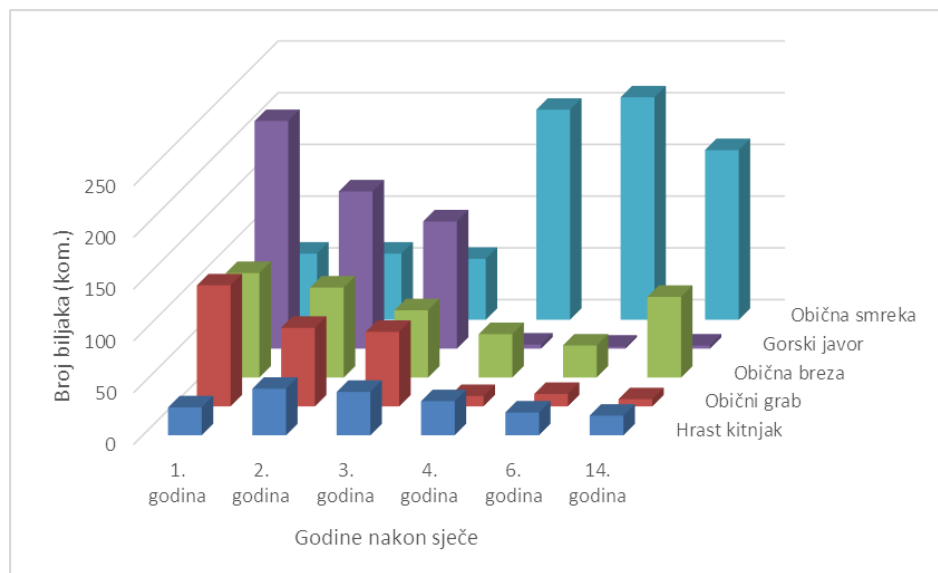
Na pokusnim plohama sukcesije prirodne šumske vegetacije bez primjene uzgojnih zahvata na lokalitetu „Doljani“ analizirano je stanje na pokusnim plohama u prvoj, drugoj, trećoj, šestoj i četrnaestoj godini nakon sječe monokulture obične smreke. Na svim je pokusnim plohama utvrđen broj biljaka pojedine vrste drveća te je mjerena visina svih stabala na pokusnim plohama. Trend broja biljaka četrnaest godina nakon potpuna uklanjanja stabala s pokusnih ploha kontinuirano se smanjuje od 577 do 346 biljaka (slika 6.28.).



**Slika 6.28.** Ukupan broj biljaka na pokusnim plohama praćenja spontane pojave prirodne šumske vegetacije na lokalitetu „Doljani“

Broj biljaka najzastupljenijih vrsta po godinama prikazan je na slici 6.29. Iz dobivenih se rezultata može uočiti da su najzastupljenije vrste obična smreka, obična breza, gorski javor, obični grab, hrast kitnjak i pitomi kesten. U prvim godinama izmjere najzastupljenija je vrsta gorski javor (slika 6.29.), dok se na pokusnim plohama u vremenu od četvrte do četrnaeste godine nakon sječe broj biljaka te vrste znatno smanjuje. Zastupljenost obične smreke raste u promatranom razdoblju. Obični se grab nalazi na trećem mjestu u omjeru smjese na ograđenim pokusnim plohama u prve tri godine nakon sječe, iako se njegov udio smanjuje na starijim i

neograđenim plohama. Obična je breza na trećem mjestu u omjeru smjese na plohama od četvrte do četrnaeste godine nakon sječe. Ako se promatraju pokusne plohe svih starosti, može se reći da je obična breza vrsta čiji udio koleba, ali je ipak znatan. Obična bukva, ciljana klimatogena vrsta u ovome istraživanju, na promatranim se plohama pojavljuje u jako malom broju, ali se pojavljuje na pokusnim plohama svih starosti. Od ostalih vrsta s više od 10 % udjela pojavljuju se pitomi kesten, topole, vrbe, lijeska te hrast cer. Tijekom analize broja biljaka u različitim razdobljima nakon sječe nisu prikazane biljke koje se u neznatnom udjelu pojavljuju na pokusnim plohama u svim promatranim godinama (manje od 5 komada na površini od 75 m<sup>2</sup> površine pokusnih ploha). To su divlja trešnja, obični jasen, bijela topola, obična jela, crna topola, trušljika, glogovi, jarebika, svib, drijen i divlja ruža.

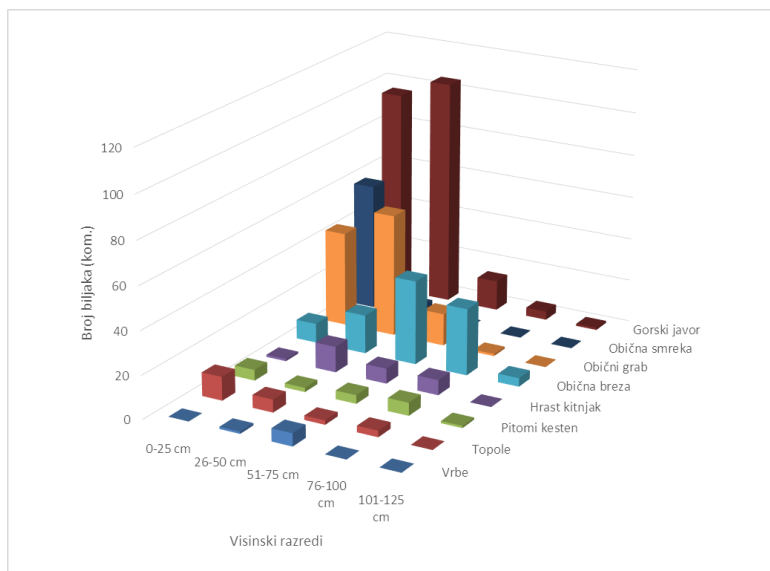


**Slika 6.29.** Najzastupljenije vrste drveća na pokusnim plohama u različitim starostima nakon sječe na lokalitetu „Doljani“

Za najzastupljenije vrste drveća na pokusnim plohama kronosekvence od 1. do 14. godine nakon sječe (obična smreka, obična breza, gorski javor, obični grab, hrast kitnjak i pitomi kesten) napravljena je detaljna analiza broja biljkaka po visinskim razredima. Iako s manjim udjelom u analizu su uključene i topole i vrbe, s obzirom na njihova pionirska svojstva. Na slici 6.30. prikazano je brojčano stanje vegetacije po visinskim razredima godinu dana nakon sječe, pri čemu je odabrano osam najzastupljenijih vrsta drveća. Broj biljaka svih vrsta drveća najveći je u prvim dvama visinskim razredima (do 25 cm i do 50 cm), osim kod obične breze čije je brojčano

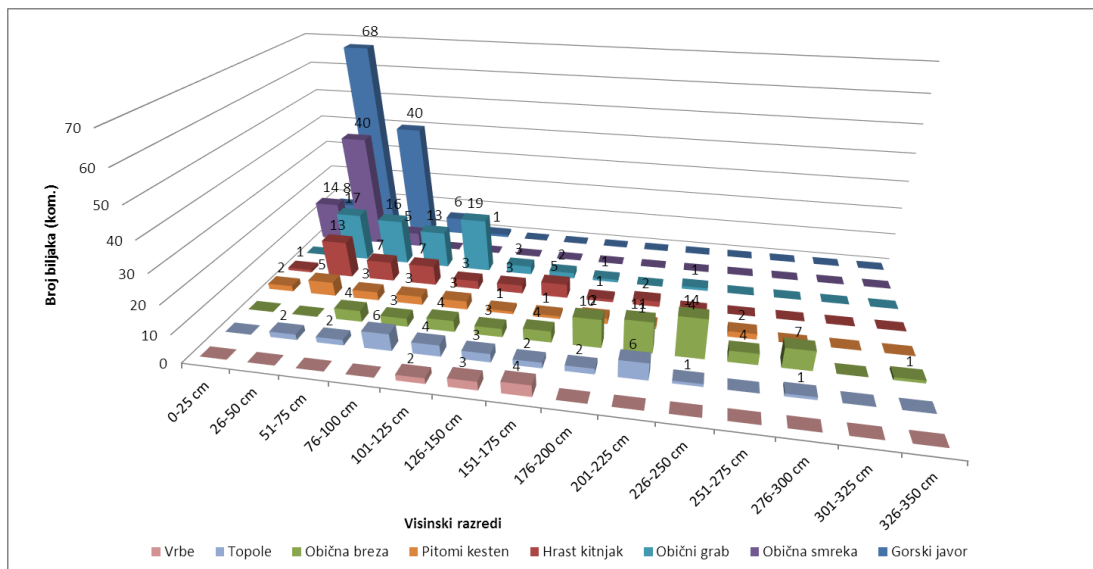


stanje najveće u trećemu visinskom razredu (do 75 cm). Jasno se ističe gorski javor kao najzastupljenija vrsta u prvim dvama visinskim razredima (do 50 cm), s najvećom visinom biljaka do 125 cm. Obični grab, s najvećom visinom biljaka do 100 cm, ima najveći udio u drugome visinskom razredu (od 25 do 50 cm). Potom slijedi obična smreka s 92,2 % biljaka do 25 cm visine. Najveće visine ima obična breza kojoj se najveći broj biljaka (38,6 %) nalazi u rasponu od 50 do 75 cm te 30,7 % u rasponu od 75 do 100 cm.



**Slika 6.30.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim plohamu jednu godinu nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“

Na slici 6.31. prikazano je brojčano stanje vrsta po visinskim razredima tri godine nakon sječe. Najveće vrijednosti koje je gorski javor imao u prvoj godini do 50 cm visine (201 kom.) sada su umanjene (108 kom.), a tek je manji broj biljaka prešao u viši visinski razred od 25 do 75 cm (40 biljaka) (slika 6.32.). Gorski javor u nižim visinskim razredima prate obična smreka, obični grab i hrast kitnjak, dok u višim razredima opet prevladava obična breza te nešto topola. Kod obične breze je ponovno vidljiv najveći rast, a brojčano je raspoređena i kroz najviše visinskih razreda. Kod obične smreke vidi se prelazak biljaka u viši visinski razred te smanjenje broja biljaka do 25 cm, što upućuje na to da nema pojave novih biljaka te vrste.



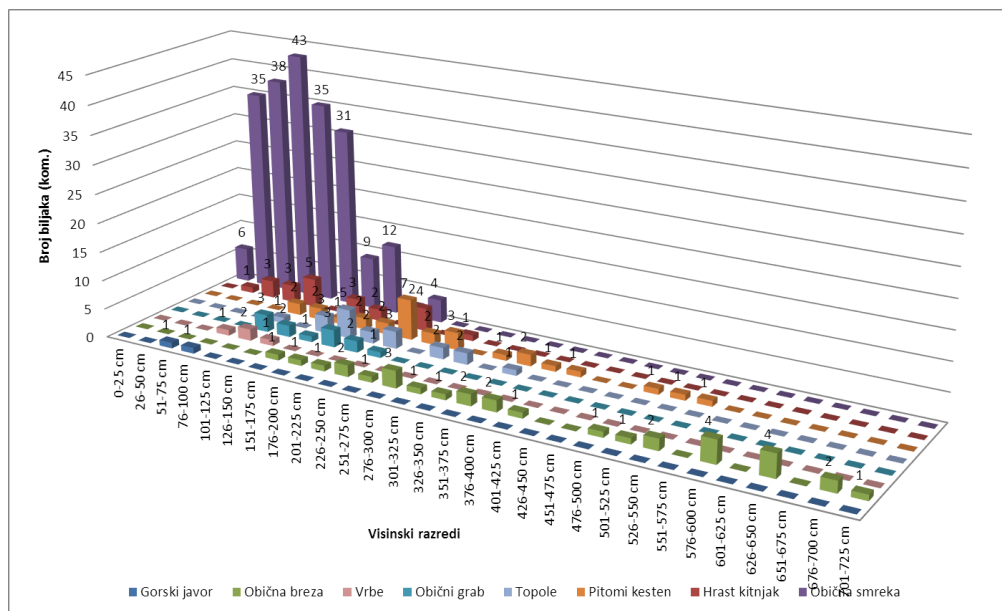
**Slika 6.31.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim plohama tri godine nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“



**Slika 6.32.** Spontani pridolazak gorskog javora tri godine nakon sječe smrekove kulture na lokalitetu „Doljani“

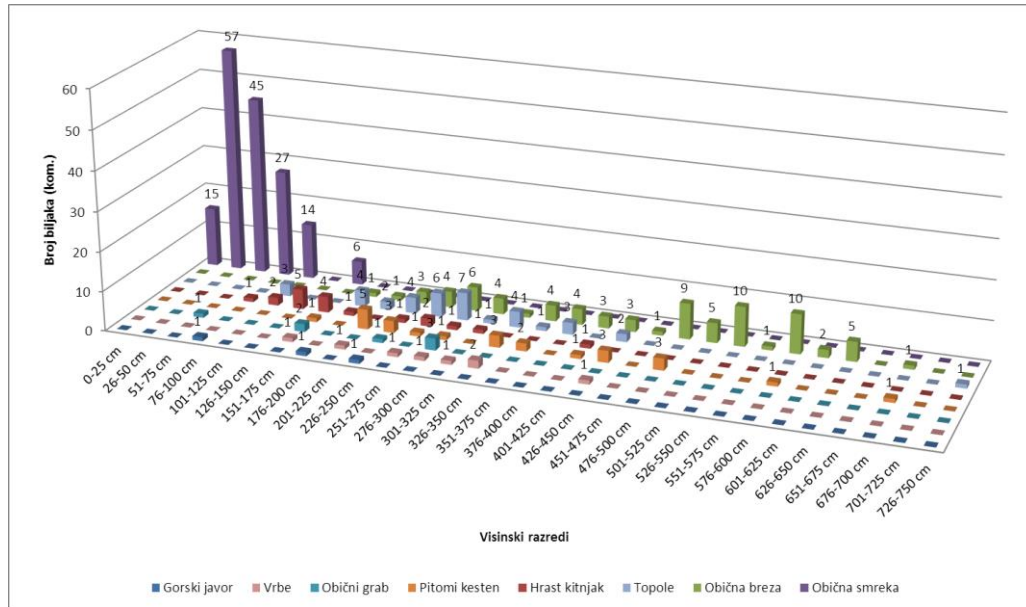
Na slici 6.33. prikazan je broj pojedinih vrsta drveća po visinskim razredima šest godina nakon sječe. Vidljivo je izdvajanje obične breze u višim visinskim razredima. Obična smreka ima najvišu biljku u razredu od 225 do 250 cm, a primjetan je i broj biljaka u prvom i drugom

visinskom razredu (do 50 cm). Najveći broj biljaka pronalazimo u rasponu od 75 do 100 cm. Znatan broj klimatogenog hrasta kitnjaka te običnog graba nalazimo u rasponu od 50 do 250 cm, a pitomi kesten pokazuje i veće visine (do 550 cm). Broj biljaka gorskog javora znatno se smanjuje na ovim pokusnim ploham. Općenito, najveća brojnost vrsta u 6 godina nakon sječe nalazi se između 75 cm i 250 cm, što je različito od prethodnih godina. Kod obične breze uočava se prisutnost u razredima iznad 600 cm visine.



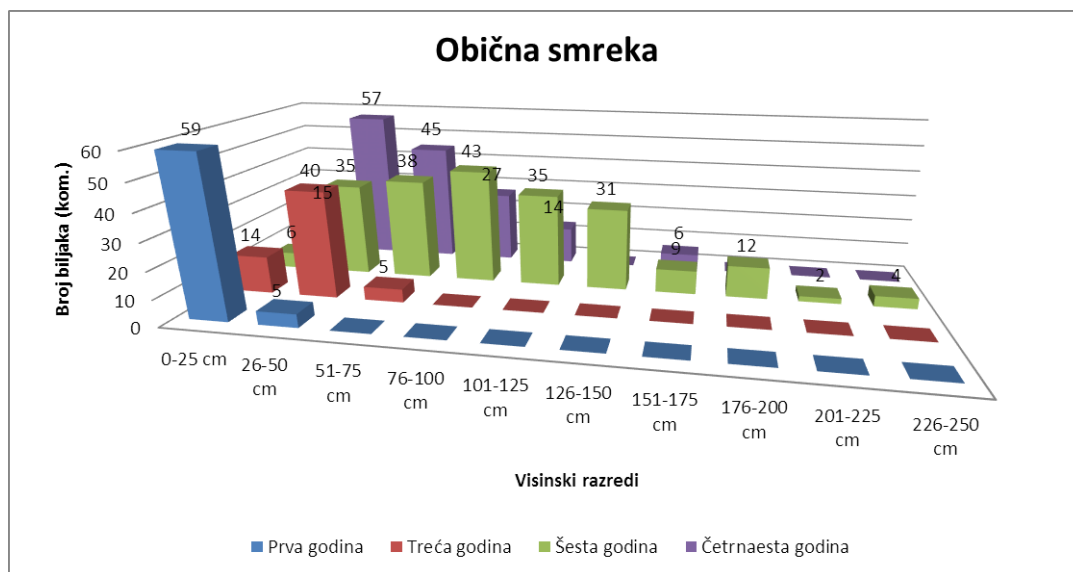
**Slika 6.33.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim ploham šest godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“

Na slici 6.34. prikazano je brojačano stanje vrsta po visinskim razredima četrnaest godina nakon sječe. Trend najvećega udjela obične breze te pitomoga kestena u najvišim visinskim razredima nastavlja se i dalje. Od 200 do 450 cm visine pronalazimo znatan udio topola, a u nižim visinskim razredima i dalje je najbrojnija obična smreka koja najveći broj biljaka ima u rasponu od 25 do 50 cm visine. Hrast kitnjak i obični grab su potisnuti, tj. dolazi do smanjenja njihova broja. Vrbe i gorski javor u ovoj se godini tek sporadično pojavljuju. Gorski javor uglavnom je potisnut u ovoj starosti.



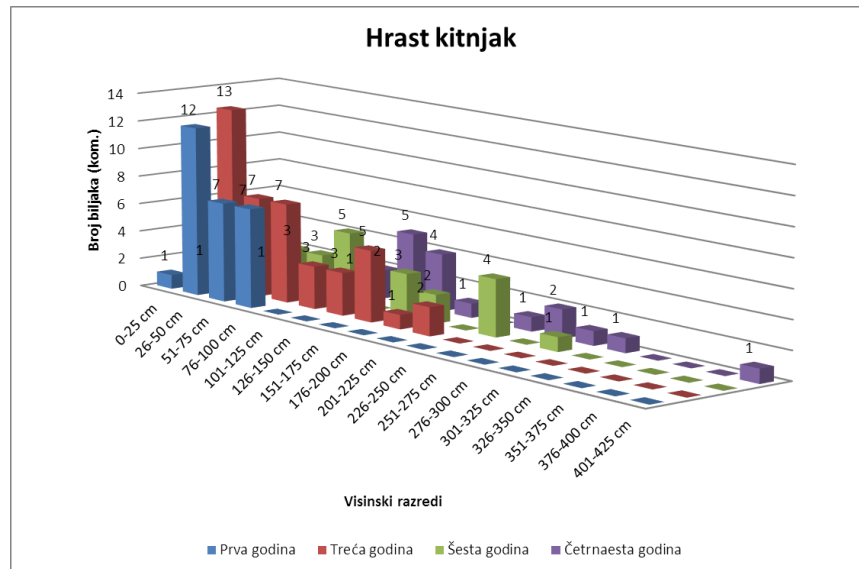
**Slika 6.34.** Najzastupljenije vrste drveća po visinskim razredima na pokusnim ploham 14 godina nakon potpuna uklanjanja smrekovih stabala (sušci) na lokalitetu „Doljani“

Na slici 6.35. prikazan je broj biljaka obične smreke na svim pokusnim ploham različite starosti (1, 3, 6 i 14 godina nakon čiste sječe). Uočavaju se relativno spor prijelaz biljaka u više visinske razrede te smanjenje njihova broja. U četrnaestoj godini nakon sječe dolazi do postupnog potiskivanja obične smreke od heliofilnijih vrsta.



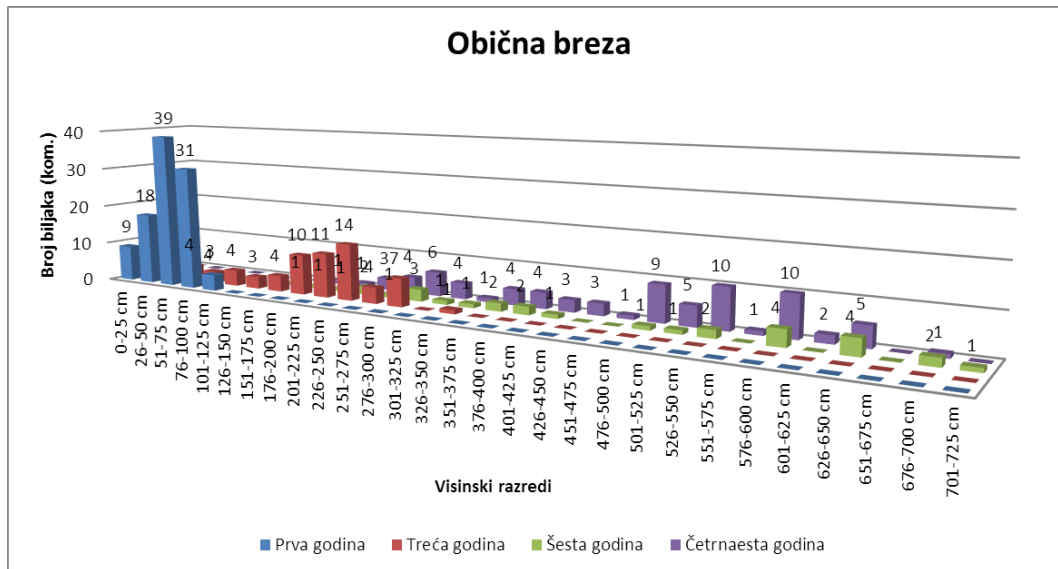
**Slika 6.35.** Broj biljaka obične smreke po visinskim razredima na pokusnim ploham svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

Kao i u slučaju obične smreke, postupno smanjivanje broja biljaka te sporo urastanje u veće visinske razrede uočava se i kod hrasta kitnjaka (slika 6.36.). Najveći broj biljaka do treće godine ostaje u drugome visinskom razredu, u rasponu od 25 do 50 cm. U šestoj godini, uz znatno smanjenje, najveći broj biljaka nalazimo u rasponu od 100 do 125 cm, a u četrnaestoj godini u rasponu od 125 do 150 cm.



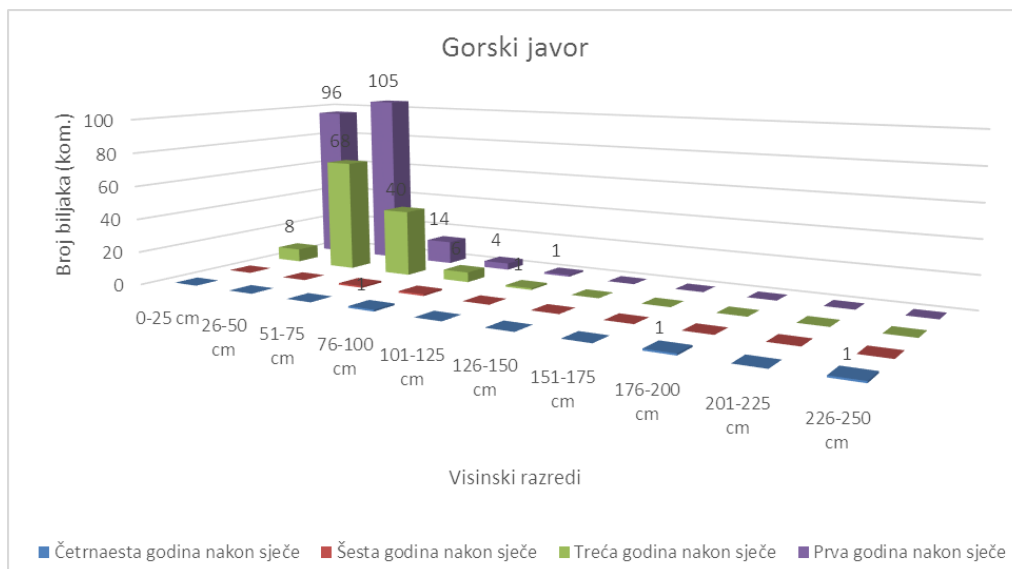
**Slika 6.36.** Broj biljaka hrasta kitnjaka po visinskim razredima na pokusnim plohama svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

Obična breza (slika 6.37.) pokazuje pravilan prijelaz tijekom promatranih godina nakon sječe iz nižih (od 1 do 100 cm) prema višim visinskim razredima (od 500 do 725 cm). Uz postupno smanjenje broja biljaka u četrnaestoj godini nakon sječe uočava se najveći raspon visina ove vrste (od 250 do 725 cm), pri čemu se najviše biljaka nalazi iznad 500 cm visine.



Slika 6.37. Broj biljaka obične breze po visinskim razredima na pokusnim ploham svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

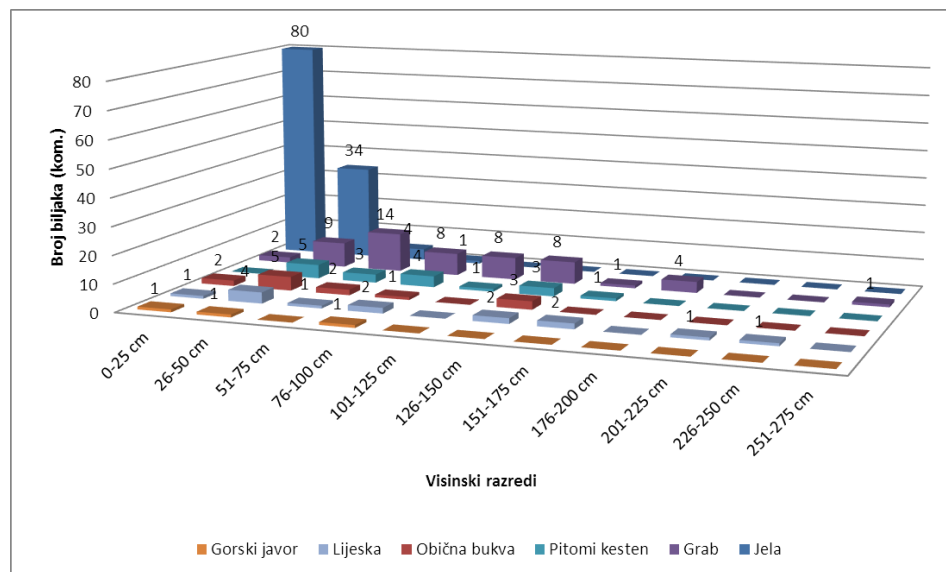
Gotovo potpuno istiskivanje gorskog javora u omjeru smjese na istraživanim pokusnim ploham na lokalitetu „Doljani“ jasno se uočava na slici 6.38. Najveća početna pojava gorskog javora nakon sječe kulture obične smreke na ovom se lokalitetu smanjuje već nakon dvije godine (tj. u trećoj godini) te dolazi do gotovo potpuna nestanka zbog prirodne kompeticije vrsta.



Slika 6.38. Broj biljaka gorskog javora po visinskim razredima na pokusnim ploham svih starosti sukcesije prirodne vegetacije na lokalitetu „Doljani“

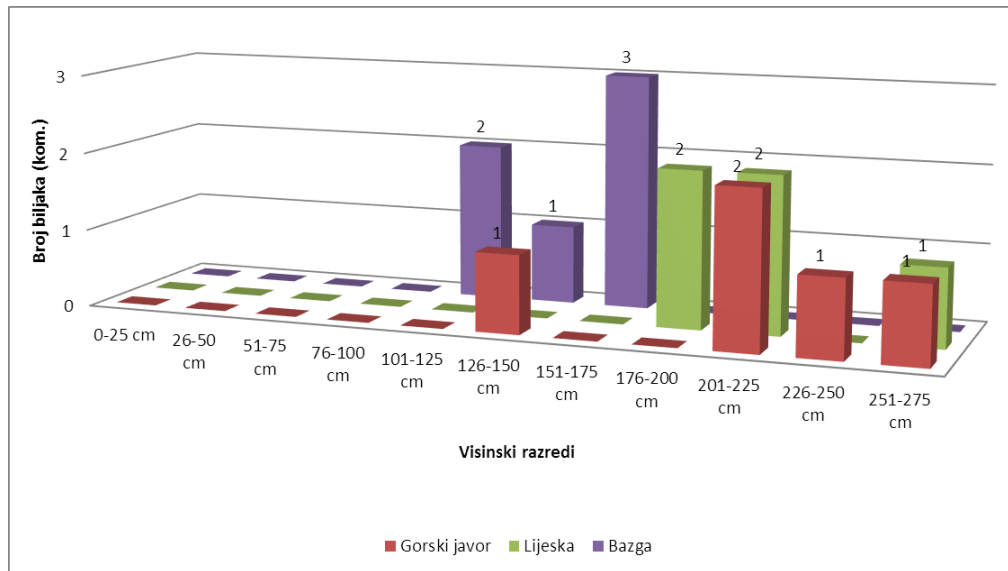
### 6.6.3. Kompozicija vrsta u prirodnoj sukcesiji pod zastorom kulture obične smreke i nakon čistog sijeka na maloj površini – lokalitet „Bistranska gora“

Na slici 6.39. prikazane su vrste koje su se spontano pojavile na pokusnim plohama na kojima je tri godine prije toga obavljen naplodni sijek. U prvome visinskom razredu, do 25 cm, pojavljuje se obična jela. Broj biljaka obične jele za polovicu je manji u sljedećemu visinskom razredu (do 50 cm), a ovu vrstu pronalazimo i u trećemu visinskom razredu (do 75 cm). Na pokusnim se plohama spontano pojavljuju još i grab, pitomi kesten, obična bukva, lijeska te gorski javor. Sve navedene vrste, osim običnoga graba, pridolaze s malim brojem biljaka.



**Slika 6.39.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama tri godine nakon naplodnog sijeka u smrekovoj kulturi na lokalitetu „Bistranska gora“

Na slici 6.40. prikazano je brojčano stanje pojedinih vrsta drveća koje su se spontano pojavile na pokusnim plohama na kojima je četiri godina prije obavljen čisti sijek zbog sušenja sabala obične smreke. Te su pokusne plohe zakorovljene te najveću pokrovnost imaju vrste roda *Rubus* (*Rubus fruticosus* L. i *Rubus idaeus* L.) koje gotovo u potpunosti prekrivaju površinu ploha. Od drvenastih vrsta prirodno se pojavljuju gorski javor, lijeska i bazga, i to s relativno malim brojem biljaka, a utvrđena je i pojava vrbe ive te vrste *Laburnum anagyroides*. Utvrđen je neznatno veći broj biljaka bazge od broja lijeske i gorskog javora. Biljke su visoke od 100 do 275 cm, pri čemu gorski javor nalazimo u najvišim razredima.



**Slika 6.40.** Najzastupljenije vrste drveća i grmlja po visinskim razredima na pokusnim plohama četiri godine nakon jednostavne supstitucije kulture na lokalitetu „Bistranska gora“



## **6.7. Supstitucija monokultura obične smreke u pojasu klimatogenih šumskih zajednica hrasta kitnjaka (lokaliteti „Pregrada – Klanjec“ i „Gornja Kupčina“)**

### **6.7.1. „Jednostavna“ supstitucija kulture obične smreke sjetvom sjemena (vegetacijski pojas hrasta kitnjaka)**

#### **6.7.1.1. Broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka iz sjemena u 1. i 2. godini nakon sjetve (lokalitet „Gornja Kupčina“)**

Na lokalitetu „Gornja Kupčina“ broj ponika i pomlatka iz sjemena kretao se od 21 do 41 biljke po pojedinoj metodi (sjetva „omaške“ – OMASKE; sadnja „pod motiku“ nakon usitnjavanja površinskog sloja – PMS; sadnja „pod motiku“ na kontrolnim plohama – PM). Najveći broj biljaka utvrđen je na pokusnim plohama na kojima je usitnjen površinski sloj i obavljena sadnja –pod motiku“ (38 – 41 biljka) (tablica 6.22., slika 6.41.).



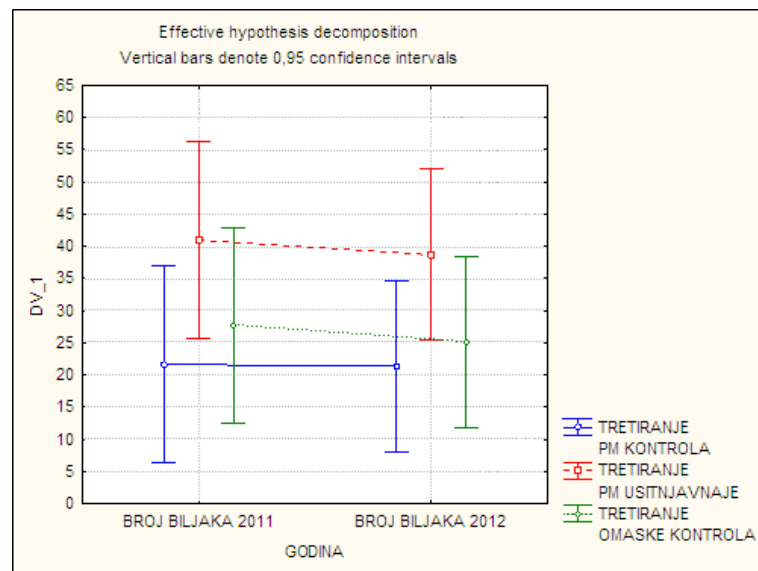
**Slika 6.41.** Pomladak hrasta kitnjaka iz sjemena u srpnju 2013. godine (lokalitet „Gornja Kupčina“)

Iako je na ovim pokusnim plohama zabilježen najveći broj biljaka iz sjemena, ukupan broj biljaka po tretiranjima uključuje tri ponavljanja. To znači da u ovome slučaju imamo manje od jedne biljke po 1 m<sup>2</sup> (0,54 biljke/1 m<sup>2</sup>). Najmanje vrijednosti standardne devijacije nalazimo kod kontrolne metode „pod motiku“ (sd = 0,57735), dok su najveće vrijednosti sadnje „pod motiku“ na plohama na kojima je usitnjen površinski sloj (15,50269 do 17,34935).

**Tablica 6.22.** Deskriptivna statistika broja ponika i pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” za različita tretiranja tijekom 2011. i 2012. godine na pokusnim plohama jednostavne supstitucije

|                         | N | N 2011 -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2011 -<br>Standardna<br>devijacija | N 2012 -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2012 -<br>Standardna<br>devijacija |
|-------------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| UKUPNO                  | 9 | 30,1                               | 12,7                                 | 28,3                               | 11,36                                |
| Omaške kontrola         | 3 | 27,7                               | 6,8                                  | 25                                 | 5                                    |
| Pod motiku kontrola     | 3 | 21,7                               | 0,6                                  | 21,3                               | 0,58                                 |
| Pod motiku usitnjavanje | 3 | 41                                 | 17,3                                 | 38,7                               | 15,50                                |

Na slici 6.42. grafički su prikazani pojedini načini sjetve i pripreme tla. Najslabiji uspjeh pokazuje metoda sadnje „pod motiku“ na kontrolnim plohama. Metoda sjetve „omaške“ na kontrolnim plohama na grafičkom prikazu pokazuje tek neznatno bolji uspjeh od metode „pod motiku“ na kontrolnim plohama. Na svim se pokusnim plohama broj biljaka neznatno smanjuje u drugoj godini nakon nicanja. Odnos broja biljaka u drugoj godini po pojedinoj metodi sličan je broju tek izniklih biljaka u prvoj godini.



N 2011. – evidentiran broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2011. godine

N 2012. – evidentiran broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2012. godine

**Slika 6.42.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2011. i 2012. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina”.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajnih razlika ni između pojedinih metoda pripreme staništa i načina sjetve ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,144906$ ), ni između pojedinih opažanja tijekom vremena, tj. između pojedinih godina ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,131462$ ). Nije utvrđena razlika ni između pojedinih tretiranja tijekom godina ( $p > 0,5$ ,  $p = 0,623355$ ) (tablica 6.23.). Opisane razlike između pojedinih načina sjetve hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” nakon primjene jednostavne supstitucije, a koje su uočene na slici 6.42., nisu statistički značajne.

**Tablica 6.23.** Rezultati analize varijance za broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka prema različitim metodama pripreme staništa na lokalitetu „Gornja Kupčina”

|                    | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|--------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE         | 1083,44       | 2                 | 541,72    | 2,71162 | 0,144906 |
| POGREŠKA           | 1198,67       | 6                 | 199,78    |         |          |
| VRIJEME            | 14,22         | 1                 | 14,22     | 3,04762 | 0,131462 |
| VRIJEME*TRETIRANJE | 4,78          | 2                 | 2,39      | 0,5119  | 0,623355 |
| POGREŠKA           | 28,00         | 6                 | 4,67      |         |          |

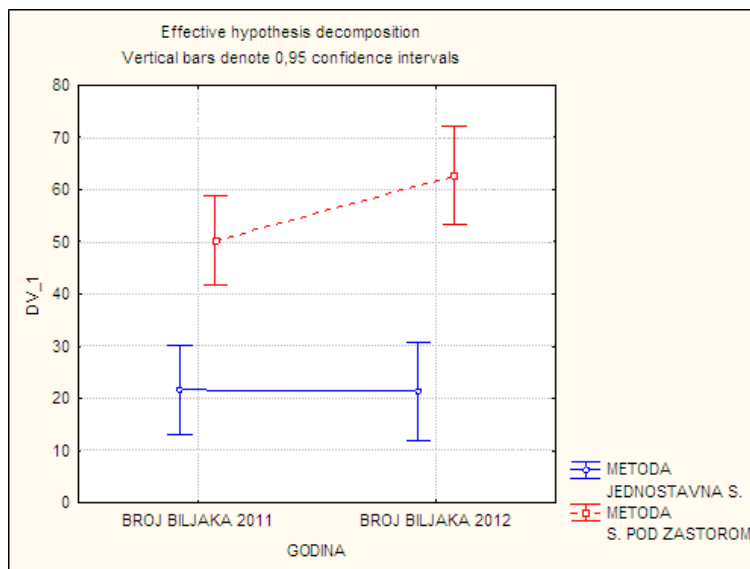
#### 6.7.2. Usporedba uspjeha različitih šumskouzgojnih metoda supstitucije kulture obične smreke sjetvom sjemena na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Za usporedbu pojedinih šumskouzgojnih metoda supstitucije kulture obične smreke na spomenutom lokalitetu statistički je uspoređen način sjetve „pod motiku“. Samo je ovaj način upotrebe sjemena ispitan na pokusnim plohama pod zastorom kulture obične smreke. Broj ponika i pomlatka veći je na pokusnim plohama pod zastorom (50 – 62 biljke na 75 m<sup>2</sup>). To se može vidjeti u tablici 6.24. Broj biljaka na plohama jednostavne supstitucije iznosi samo 21 biljku, što je tek 0,3 biljke po četvornom metru. Broj biljaka u drugoj godini u metodi pod zastorom iznosi 0,83 biljke/1 m<sup>2</sup>.

**Tablica 6.24.** Deskriptivna statistika broja ponika i pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” za metodu pod zastorom krošanja stabala kulture obične smreke i metodu jednostavne supstitucije (sadnja „pod motiku”) tijekom 2011. i 2012. godine

|                           | N | N 2011 -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2011 -<br>Standardna<br>devijacija | N 2012 -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2012 -<br>Standardna<br>devijacija |
|---------------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Ukupno                    | 6 | 36                                 | 16,41                                | 42                                 | 23,24651                             |
| Jednostavna supstitucija  | 3 | 21,67                              | 0,58                                 | 21,33                              | 0,57735                              |
| Supstitucija pod zastorom | 3 | 50,33                              | 7,51                                 | 62,67                              | 8,32666                              |

Na slici 6.43. uočavaju se bolji uspjeh nicanja ponika hrasta kitnjaka pod zastorom krošanja obične smreke te povećanje broja u drugoj godini. Zbog šteta na poniku na pokusnim plohama jednostavne supstitucije broj se biljaka smanjuje u drugoj godini izmjere.



N 2011. – evidentiran broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2011. godine

N 2012. – evidentiran broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2012. godine

**Slika 6.43.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2011. i 2012. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina” za različite šumskouzgojne metode (pod zastorom, jednostavna supstitucija)

Analizom varijance ponovljenih mjerenja dokazana je statistički značajna razlika između pojedinih šumskouzgojnih metoda supstitucije ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,004548$ ) (tablica 6.25.). Postoji statistički značajna razlika i u opažanjima tijekom vremena ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,000170$ ) te između

metoda u prebrojavanju biljaka tijekom 2012. i 2013. godine ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,000015$ ). Bolji uspjeh metode pod zastorom statistički je potvrđen.

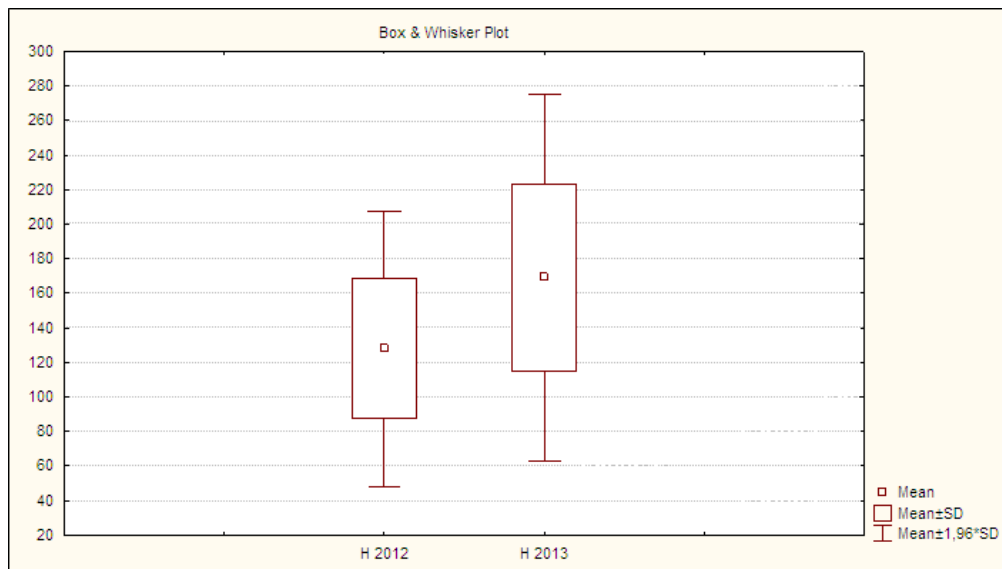
**Tablica 6.25.** Rezultati analize varijance za usporedbu broja ponika i pomlatka hrasta kitnjaka iz sjemena prema različitim metodama supstitucije (pod zastorom i jednostavna supstitucija)

|                | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|----------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| METODA         | 3348,35       | 1                 | 3348,35   | 13,2392 | 0,004548 |
| POGREŠKA       | 2529,11       | 10                | 252,91    |         |          |
| VRIJEME        | 125,35        | 1                 | 125,35    | 33,7762 | 0,00017  |
| VRIJEME*METODA | 224,01        | 1                 | 224,01    | 60,363  | 0,000015 |
| POGREŠKA       | 37,11         | 10                | 3,71      |         |          |

### 6.7.3. Uspjeh supstitucije pod zastorom sjetvom „omaške“ (lokalitet „Pregrada – Klanjec“)

#### 6.7.3.1. Visina pomlatka i mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“

Uspjeh sjetve „omaške“ na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“ evidentiran je u petoj i šestoj godini nakon sjetve. Srednje visine pomlatka i mladika hrasta kitnjaka u petoj godini iznose 127,82 cm, a u šestoj 169,01 cm. Najmanja je visina u petoj godini 43 cm, a najviša 229 cm. U šestoj godini najmanja visina (na potisnutim stablima) iznosi 52,5 cm, a najviše stablo bilo je visoko 300 cm (tablica 6.26.). Standardna je devijacija 40,57 cm u petoj godini te se povećava na 54,29 cm u šestoj godini nakon sjetve (slika 6.44.).



H 2012 – izmjerena visina (cm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2013 – izmjerena visina (cm) na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.44.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Pregrada – Klanjec” (jednostavna supstitucija).

**Tablica 6.26.** Deskriptivna statistika visine pomlatka i mladika hrasta kitnjaka porijeklom iz sjemena na lokalitetu „Pregrada – Klanjec”, za metodu pod zastorom (sjetva „omaške”)

|        | N   | Arit. sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|--------|-----|---------------|---------|----------|----------------|
| H 2012 | 126 | 127,82        | 43,00   | 229,00   | 40,56642       |
| H 2013 | 126 | 169,01        | 52,50   | 300,00   | 54,29153       |

#### 6.7.3.2. Visinski prirast pomlatka i mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Pregrada – Klanjec”

Srednja vrijednost visinskog prirasta hrasta kitnjaka u šestoj godini nakon sjetve „omaške” iznosi 41,2 cm. Najmanji je prirast 7 cm, a najveći 77 cm. Standardna devijacija iznosi 17,88 cm. Tijekom dvije godine izmjere nisu zabilježena suha stabla te je analiza napravljena na ukupno 126 stabala hrasta kitnjaka (tri ponavljanja).

*6.7.3.3. Promjer na bazi stabljike pomlatka i mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“*

Promjer na bazi stabljike pomlatka i mladika hrasta kitnjaka mjereno je u 2013. godini, dakle u šestoj godini nakon sjetve. Aritmetička sredina promjera na bazi stabljike hrasta kitnjaka iznosi 2,22 cm. Najmanji je promjer 0,6 cm, a najveći 6,68 cm. Standardna devijacija iznosi 1,05 cm.

*6.7.3.4. Promjer na prsnoj visini pomlatka i mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“*

Promjer na prsnoj visini (1,30 m) mjereno je u mladiku hrasta kitnjaka iz sjemena 2013. godine. Od 126 stabala na svim pokusnim plohama njih 73,81 % u šestoj je godini doseglo prsnu visinu te su ušla u statističku obradu. Aritmetička sredina promjera na prsnoj visini u šestoj godini nakon sjetve hrasta kitnjaka iznosi 0,93 cm. Najmanji je prsni promjer 0,19 cm, a najveći 3,05 cm. Standardna devijacija iznosi 0,56 cm.

*6.7.4. Jednostavna supstitucija kulture obične smreke sadnjom sadnica u vegetacijskom pojasu hrasta kitnjaka*

*6.7.4.1. Preživljenje pomlatka hrasta kitnjaka po pojedinoj metodi pripreme staništa (lokalitet „Gornja Kupčina“)*

Na pokusnim plohama na ovome lokalitetu posađeno je ukupno 75 biljaka po pojedinoj metodi pripreme staništa (25 biljaka x 3 ponavljanja). S obzirom na to da su ispitane ukupno tri metode (sadnja na humke, „usitnjavanje“ te kontrola bez pripreme staništa), ukupno je posađeno 225 biljaka. Od toga broja, nakon tri godine istraživanja, ukupno je na pokusu ostalo 187 biljaka hrasta kitnjaka. Preživljenje sadnica kretalo se od 56 do 73 biljke po pojedinoj metodi. Najbolje je preživljenje utvrđeno pri sadnji na humcima, a iznosilo je 97,33 % (73 biljke). Broj biljaka hrasta kitnjaka na spomenutim pokusnim plohama prikazan je na slici 6.45. Najslabije preživljenje utvrđeno je na kontrolnim pokusnim plohama, gdje nije primijenjena nikakva

priprema staništa. Ono iznosi 56 biljaka ili 74,67 %, dok je na površini na kojoj je primijenjeno „usitnjavanje” preživljenje iznosilo 58 biljaka ili 77,33 %.



**Slika 6.45.** Na lokalitetu „Gornja Kupčina“ najbolje je preživljenje utvrđeno kod sadnica hrasta kitnjaka sađenog na humke (G. j. „Jastrebarske prigorske šume“)

#### *6.7.4.2. Pojava korovske vegetacije i osunčanost krošanja pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“*

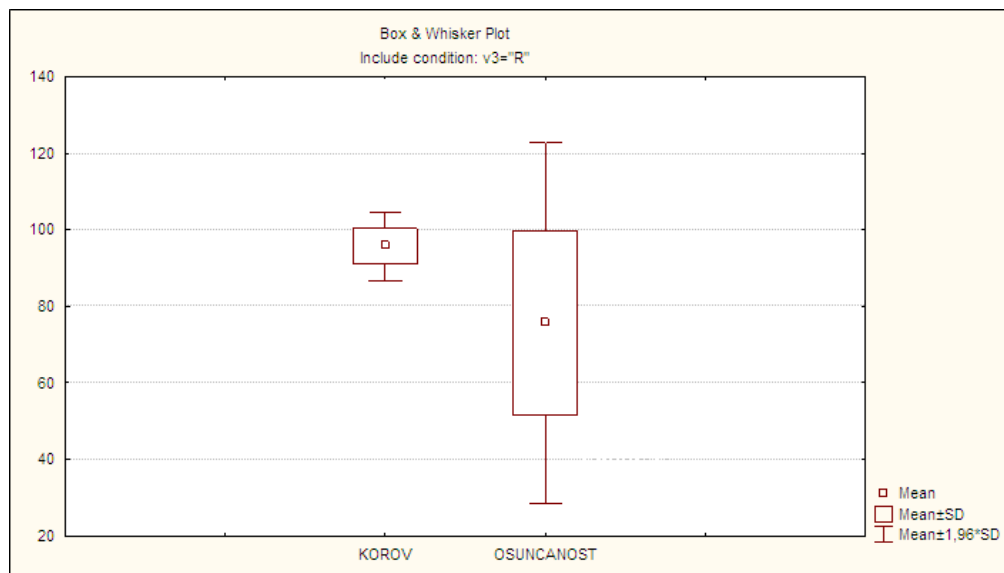
Na svim biljkama u pokusu (75 komada po tretmanu) procijenjena je pokrovnost korova u prvoj godini nakon sadnje (2010. godina). Prosječna vrijednost pokrovnosti korovske vegetacije na pokusnim plohama na kojima je hrast kitnjak sađen na humke iznosi 95,67 % (tablica 6.27.). Najmanja vrijednost pokrovnosti korova na ovim pokusnim plohama iznosi 85 %, a najveća 100 %. Prosječna vrijednost osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka iznosi 75,67 %. Najmanja površina osunčanog dijela krošanja biljaka jest 5 % (gotovo u potpunosti u zasjeni korova), a najveća 100 %.



**Tablica 6.27.** Deskriptivna statistika pokrovnosti korova i osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” u prvome vegetacijskom razdoblju nakon presadnje na humke

|            | N  | Arit. sredina | Minimum | Maksimum | St. Devijacija |
|------------|----|---------------|---------|----------|----------------|
| KOROV      | 75 | 95,67         | 85,00   | 100,00   | 4,60121        |
| OSUNČANOST | 75 | 75,67         | 5,00    | 100,00   | 24,05418       |

Pokrovnost korova i osunčanost krošnjica hrasta kitnjaka sađenog na humke te 95 %-tni interval pouzdanosti prikazani su na slici 6.46. Standardna devijacija vrijednosti pokrovnosti korova iznosi 4,60 %, a osunčane površine krošnjica pomlatka 24,05 %.



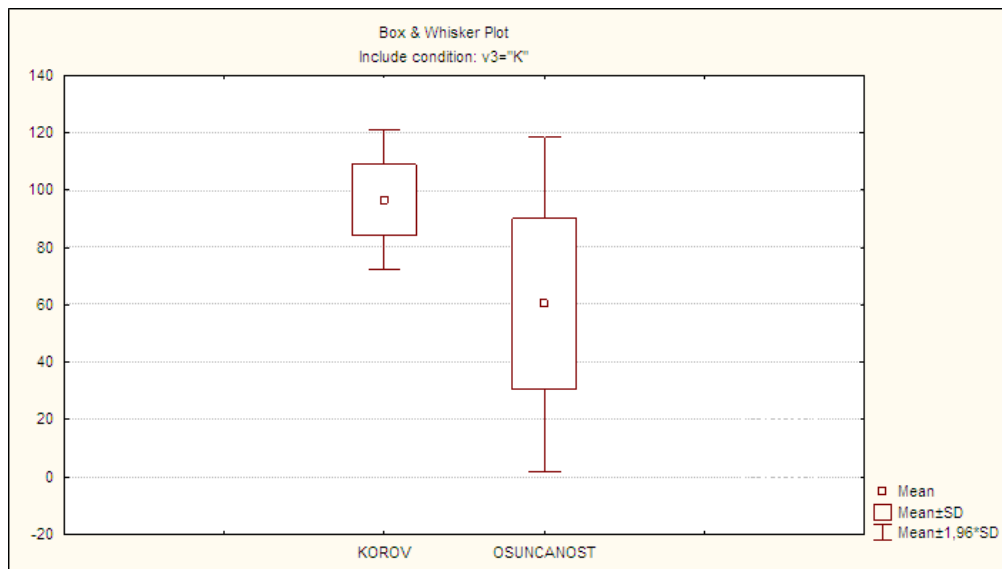
**Slika 6.46.** 95 %-tni interval pouzdanosti za pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina” (sadnja na humke).

Prosječna vrijednost pokrovnosti korovske vegetacije na kontrolnim pokusnim plohamo iznosi 96,49 % (tablica 6.28.). Najmanja je pokrovnost korova na ovim pokusnim plohamo 0 %, a najveća 100 %. Prosječna je vrijednost osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka za 15,47 % manja od pokusnih ploha na kojima su sadnice sađene na humke. Ona iznosi 60,20 %. Najmanja je površina osunčanog dijela krošnjica biljaka 0 % (potpuno u zasjeni korova), a najveća 100 %.

**Tablica 6.28.** Deskriptivna statistika pokrovnosti korova i osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” u prvome vegetacijskom razdoblju nakon presadnje na kontrolnim pokusnim ploham

|            | N  | Arit. sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|------------|----|---------------|---------|----------|----------------|
| KOROV      | 74 | 96,49         | 0,00    | 100,00   | 12,4342        |
| OSUNČANOST | 74 | 60,20         | 0,00    | 100,00   | 29,82184       |

Pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka sađenog na kontrolnim pokusnim ploham bez ikakva tretiranja te 0,95 %-tni interval pouzdanosti prikazani su na slici 6.47. Standardne devijacije ovih vrijednosti veće su od vrijednosti na pokusnim ploham sadnje na humke i iznose u slučaju pokrovnosti korova 12,43 % (veća za 7,08 %), a u slučaju površine osunčanoga dijela krošnjica pomlatka 29,82 % (veća za 5,77 %).



**Slika 6.47.** 95 %-tni interval pouzdanosti za pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina” (kontrolne pokusne plohe).

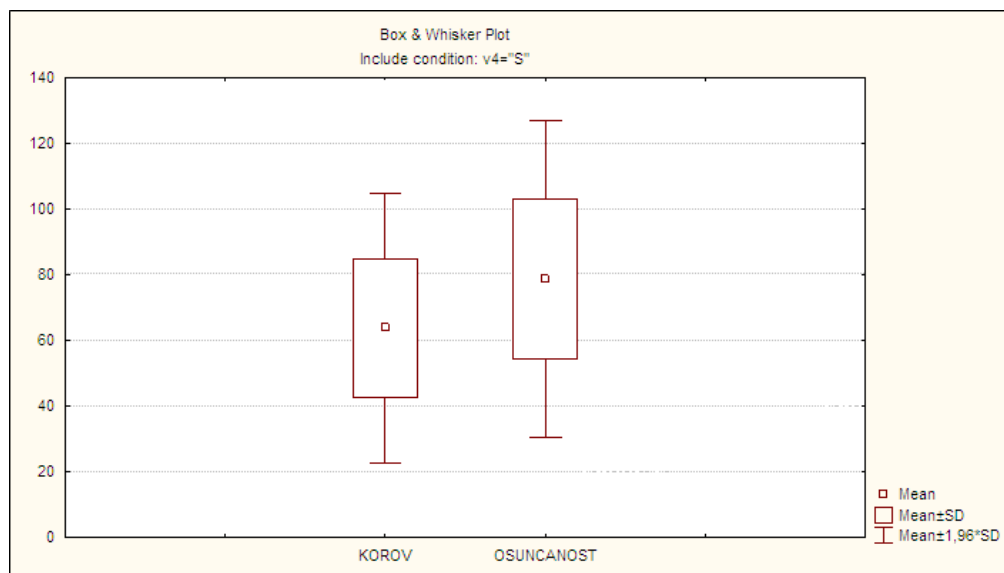
Prosječna vrijednost pokrovnosti korovske vegetacije na pokusnim ploham na kojima je obavljeno usitnjavanje ima najmanju vrijednost i iznosi 63,67 % (tablica 6.29.). Najmanja je pokrovnost korova na tim pokusnim ploham 15 %, a najveća 100 %. Prosječna je vrijednost osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka 78,6 %. Najmanja površina osunčanoga dijela

krošnjica biljaka iznosi 10 % (gotovo potpuno u zasjeni korova), a najveća 100 % kao i na prethodnim pokusnim plohama.

**Tablica 6.29.** Deskriptivna statistika pokrovnosti korova i osunčanosti krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” u prvome vegetacijskom razdoblju nakon presadnje na pokusnim plohama s usitnjenim površinskim slojem

|            | N  | Arit. sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|------------|----|---------------|---------|----------|----------------|
| KOROV      | 75 | 63,67         | 15,00   | 100,00   | 21,04264       |
| OSUNČANOST | 75 | 78,60         | 10,00   | 100,00   | 24,53018       |

Pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka sađenog na pokusnim plohama na kojima je neposredno prije sadnje usitnjen površinski sloj i 95 %-tni interval pouzdanosti prikazani su na slici 6.48. Standardna devijacija pokrovnosti korovske vegetacije iznosi 21,04 %, a površine osunčanog dijela krošnja pomlatka hrasta kitnjaka 24,53 %.



**Slika 6.48.** 95 %-tni interval pouzdanosti za pokrovnost korova i osunčanost krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka tijekom 2012. i 2013. godine na lokalitetu „Gornja Kupčina” (kontrolne pokusne plohe).

Jednostruka analiza varijance (tablica 6.30.) pokazala je da postoji statistički značajna razlika između pokrovnosti korovske vegetacije na pokusnim plohama na kojima je primjenjena

različita priprema staništa (usitnjavanje i kontrola) ( $p < 0,0001$ ). Postoji i statistički značajna razlika između različitih načina sadnje (sadnja na humke i kontrola) ( $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.30.** Rezultati jednostruke analize varijance za pokrovnost korovske vegetacije na svim pokusnim plohama sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina” (jednostavna supstitucija)

|            | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F   | p        |
|------------|---------------|-------------------|-----------|-----|----------|
| TRETIRANJE | 52624         | 2                 | 26312     | 128 | 0,000001 |
| POGREŠKA   | 45632         | 222               | 206       |     |          |

„Post hoc” Tuckey test (tablica 6.31.) pokazuje da analizom varijance utvrđena razlika između različitih načina pripreme tla i načina sadnje na ovome lokalitetu postoji samo između pokusnih ploha na kojima je usitnjen površinski sloj neposredno prije sadnje. One se statistički značajno razlikuju od ostalih tretiranja.

**Tablica 6.31.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za pokrovnost korovske vegetacije na pokusnim plohama sadnje hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

|   | Tretiranje   | {1}      | {2}      | {3}      |
|---|--------------|----------|----------|----------|
|   |              | 95,667   | 63,667   | 96,533   |
| 1 | humci        |          | 0,000022 | 0,927256 |
| 2 | usitnjavanje | 0,000022 |          | 0,000022 |
| 3 | kontrola     | 0,927256 | 0,000022 |          |

Jednostruka analiza varijance (tablica 6.32.) za površinu osunčanog dijela krošanja pomlatka pokazala je da postoji statistički značajna razlika između pojedinih tretiranja kao što je to slučaj kod pokrovnosti korovskom vegetacijom. Vrijednost p manja je od 0,05 ( $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.32.** Rezultati jednostruke analize varijance za površinu osunčanog dijela krošanja pomlatka hrasta kitnjaka na svim pokusnim plohamu sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina” (metoda jednostavne supstitucije)

|            | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F     | p        |
|------------|---------------|-------------------|-----------|-------|----------|
| TRETIRANJE | 14435         | 2                 | 7217      | 10516 | 0,000001 |
| POGREŠKA   | 152361        | 222               | 686       |       | 0,000043 |

„Post hoc” Tuckey test (tablica 6.33.) pokazuje da na ovom lokalitetu postoji statistički značajna razlika između kontrolnih pokusnih ploha na kojima je obavljena klasična sadnja u jame od ostalih načina pripreme staništa.

**Tablica 6.33.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za površinu osunčanog dijela krošnjica pomlatka hrasta kitnjaka na svim pokusnim plohamu sadnje na lokalitetu „Gornja Kupčina”

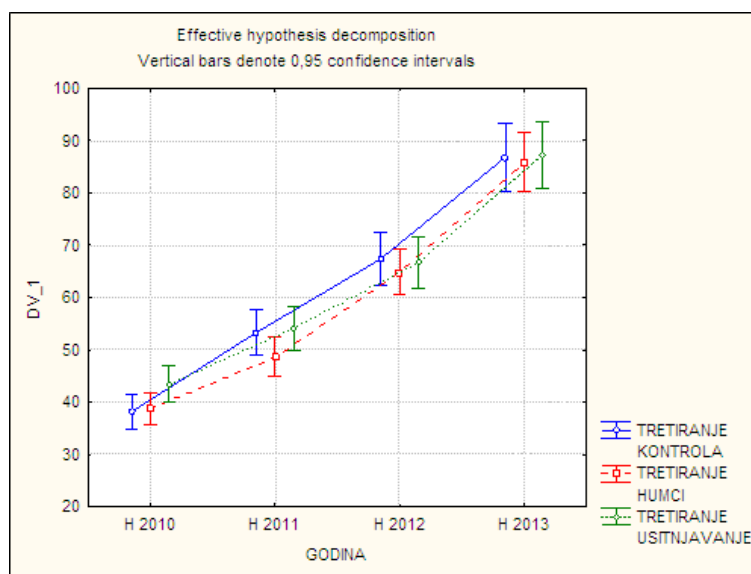
|   | Tretiranje   | {1}<br>75,667 | {2}<br>78,600 | {3}<br>60,333 |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | humci        |               | 0,771866      | 0,000997      |
| 2 | usitnjavanje | 0,7718666     |               | 0,000077      |
| 3 | kontrola     | 0,000997      | 0,000077      |               |

#### 6.7.4.3. Visina pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Na slici 6.49. uočava se kretanje visina (H) pomlatka hrasta kitnjaka u promatranom razdoblju prema pojedinim metodama pripreme staništa. Na početku istraživanja najveća se srednja visina postiže metodom „usitnjavanje”, koja u idućim godinama pokazuje srednji uspjeh. Neznatno veće visine tijekom svih godina izmjerene su na kontrolnim plohamu, a nešto manje visine pri sadnji sadnica na humke. Visina sadnica na humcima najviše se prema ostalim metodama razlikuje u drugoj godini istraživanja ( $s = 48,67$  cm), pri čemu se razlika smanjuje u trećoj godini. U četvrtoj se godini gotovo izjednačuje s visinama staništima pripremljenima ostalim metodama (kontrola  $s = 86,84$ , „usitnjavanje” =  $87,19$ , humci  $s = 85,96$ ) (tablica 6.34.).

**Tablica 6.34.** Deskriptivna statistika visina hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” za tri različita tretiranja (kontrola, „usitnjavanje” i humci) u razdoblju od 2010. do 2013. godine

|              | N   | H 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2010. -<br>St.<br>devijacija | H 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2011. -<br>St.<br>devijacija | H 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2012. -<br>St.<br>devijacija | H 2013. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2013. -<br>St.<br>devijacija |
|--------------|-----|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Ukupno       | 187 | 40,08503                            | 13,17944                       | 51,72406                            | 16,26493                       | 66,20856                            | 18,81378                       | 86,60749                            | 24,47512                       |
| Kontrola     | 56  | 38,17321                            | 16,94496                       | 53,32679                            | 16,04723                       | 67,40357                            | 18,00181                       | 86,83929                            | 22,86226                       |
| Usitnjavanje | 58  | 43,51379                            | 13,18946                       | 54,02241                            | 15,79198                       | 66,73103                            | 16,86415                       | 87,19483                            | 23,24501                       |
| Humci        | 73  | 38,8274                             | 8,81733                        | 48,66849                            | 16,53945                       | 64,87671                            | 20,94191                       | 85,96301                            | 26,82766                       |



H 2010 – izmjerena visina (cm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2011 – izmjerena visina (cm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2012 – izmjerena visina (cm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2013 – izmjerena visina (cm) na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.49.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka hrasta kitnjaka po godinama, na lokalitetu „Gornja Kupčina”

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između pojedinih metoda pripreme staništa ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,459356$ ) (tablica 6.35.). Stoga opisane razlike između pojedinih metoda koje su uočene na slici 6.49. nisu statistički značajne. Statistički značajna razlika postoji između pojedinih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Interakcija između tretiranja i godina nije statistički značajna (tablica 6.36.), što nam poukazuje da se tretiranja tijekom godina ponašaju približno jednako. To se uočava i na slici 6.49.

**Tablica 6.35.** Rezultati analize varijance za visine hrasta kitnjaka prema različitim metodama pripreme staništa

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE    | 1417          | 2                 | 709       | 0,781   | 0,459356 |
| POGREŠKA      | 166895        | 184               | 907       |         |          |
| R1            | 221617        | 3                 | 73872     | 455,807 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 995           | 6                 | 166       | 1,023   | 0,408903 |
| POGREŠKA      | 89.462        | 552               | 162       |         |          |

**Tablica 6.36.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

|   | R1      | {1}<br>40,085 | {2}<br>51,724 | {3}<br>66,209 | {4}<br>86,607 |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | H 2010. |               | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |
| 2 | H 2011. | 0,000008      |               | 0,000008      | 0,000008      |
| 3 | H 2012. | 0,000008      | 0,000008      |               | 0,000008      |
| 4 | H 2013. | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |               |

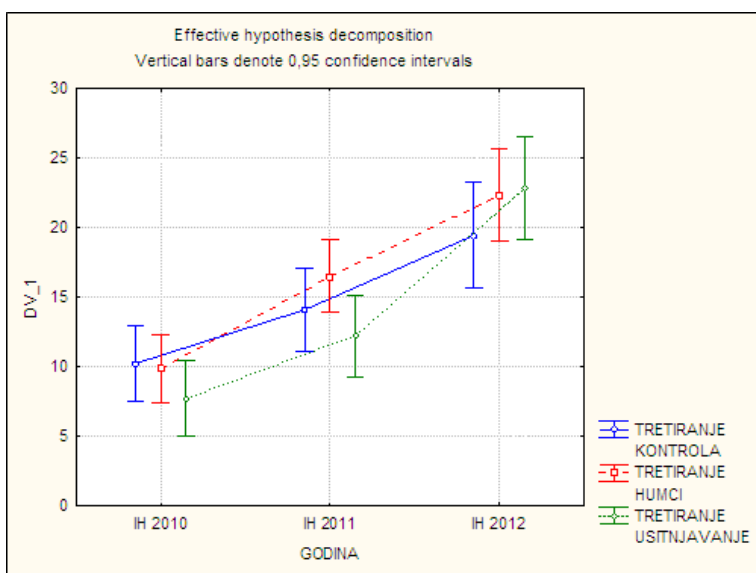
#### 6.7.4.4. Visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

Na slici 6.50. uočava se trend visinskoga prirasta (IH) pomlatka hrasta kitnjaka u promatranom razdoblju prema pojedinim metodama pripreme staništa. Nakon prve godine istraživanja najbolji visinski prirast ima kontrolna metoda ( $s = 10,23$  cm), a najmanji „usitnjavanje” ( $s = 7,71$  cm). Visinski prirast biljaka posađenih na humke gotovo je jednak visinskom prirastu biljaka u kontrolnoj metodi ( $s = 9,84$  cm) u prvoj godini. On se pravilno povećava do kraja razdoblja istraživanja kada ima gotovo jednaki prirast kao i metoda „usitnjavanje”. Uočavaju se najveće promjene prirasta u metodi „usitnjavanje”. Nakon početnog zaostajanja za ostalim metodama ona pokazuje bolji uspjeh u posljednjoj godini ( $s = 22,83$  cm). Biljke na pokusnim plohama na kojima je primijenjena kontrolna metoda rastu sporije od biljaka zasađenih ostalim metodama. One zaostaju za drugim metodama u posljednjoj godini ( $s = 19,43$  cm). Najveća razlika standardnih devijacija visinskoga prirasta zabilježena je nakon prvoga

vegetacijskog razdoblja, što se vidi iz tablice 6.37. Nakon drugog i trećeg vegetacijskog razdoblja standardne su devijacije podjednake između svih promatranih metoda.

**Tablica 6.37.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2011. do 2012. godine

|              | N   | IH 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2010. -<br>St.<br>devijacija | IH 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2011. -<br>St.<br>devijacija | IH 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2012. -<br>St.<br>devijacija |
|--------------|-----|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Ukupno       | 187 | 9,305                                | 10,49872                        | 14,459                               | 11,33826                        | 21,605                               | 14,27288                        |
| Kontrola     | 56  | 10,225                               | 8,6905                          | 14,077                               | 11,6876                         | 19,436                               | 12,25574                        |
| Usitnjavanje | 58  | 7,714                                | 4,70131                         | 12,221                               | 10,84389                        | 22,832                               | 13,00694                        |
| Humci        | 73  | 9,841                                | 14,33092                        | 16,499                               | 11,23456                        | 22,311                               | 16,48499                        |



IH 2010 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

IH 2011 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

IH 2012 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.50.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina”.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između pojedinih metoda pripreme staništa ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,245391$ ) (tablica 6.38.). Iako postoje



razlike između pojedinih metoda, koje se uočavaju na slici 6.50., one statistički nisu potvrđene. Kao i u slučaju visina, statistički značajna razlika postoji u visinskim prirastima između pojedinih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Interakcija između tretiranja i godina nije statistički značajna, što nam pokazuje da se tretiranja ponašaju približno jednako u promatranom razdoblju.

**Tablica 6.38.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na pokusnim plohama s različitim metodama pripreme staništa (lokalitet „Gornja Kupčina”)

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F      | P        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|--------|----------|
| TRETIRANJE    | 440,4         | 2                 | 220,2     | 1,4157 | 0,245391 |
| POGREŠKA      | 28464,1       | 183               | 155,5     |        |          |
| R1            | 13944,7       | 2                 | 6972,3    | 48,885 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 755,3         | 4                 | 188,8     | 1,3238 | 0,260542 |
| POGREŠKA      | 52.202        | 366               | 142,6     |        |          |

„Post hoc” Tuckey testom dokazano je da postoji statistički značajna razlika između svih godina (vegetacijskih razdoblja) (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (tablica 6.39.).

**Tablica 6.39.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

|   | R1       | {1}<br>9,3048 | {2}<br>14,459 | {3}<br>21,605 |
|---|----------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | IH 2010. |               | 0,000112      | 0,000022      |
| 2 | IH 2011. | 0,000112      |               | 0,000022      |
| 3 | IH 2012. | 0,000022      | 0,000022      |               |

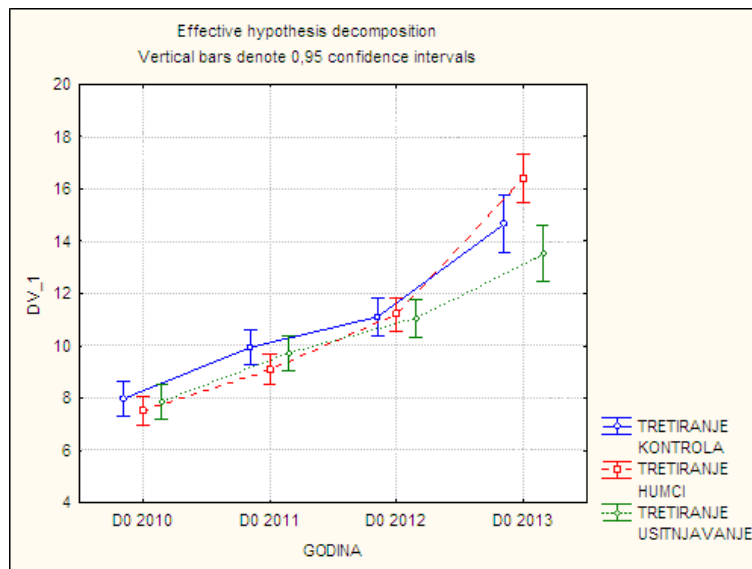
#### 6.7.4.5. Promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

Trend promjera na bazi stabljike (D0) pomlatka hrasta kitnjaka prema pojedinim metodama pripreme tla i načinu sadnje prikazan je na slici 6.51. Na početku istraživanja približno jednake promjere na bazi stabljike imaju sva tretiranja. U drugoj godini sadnja na humke zaostaje prema ostalim tretiranjima („usitnjavanja” i kontrole). U trećoj se godini uočava najveća ujednačenost

promjera na bazi stabljike između svih tretiranja, dok u četvrtoj godini nastaju veće razlike između pojedinih tretiranja. Promjer je na bazi stabljike pomlatka na pokusnim plohama pripremljenima usitnjavanjem površinskog sloja najmanji ( $s = 1,35$  cm), a najbolji uspjeh pokazuju biljke posađene na humke ( $s = 1,64$  cm). Promjeri pomlatka biljaka posađenih na humke imaju najvišu standardnu devijaciju u četvrtoj godini ( $sd = 4,73$  mm). Deskriptivna statistika za sve vrste tretiranja prikazana je u tablici 6.40.

**Tablica 6.40.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od četiri godine (2010. do 2012.)

|              | N   | D0 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2010. -<br>St.<br>devijacija | D0 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2011. -<br>St.<br>devijacija | D0 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2012. -<br>St.<br>devijacija | D0 2013. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2013. -<br>St.<br>devijacija |
|--------------|-----|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Ukupno       | 187 | 7,759733                             | 2,474655                        | 9,54123                              | 2,569633                        | 11,12358                             | 2,747144                        | 14,98417                             | 4,249721                        |
| Kontrola     | 56  | 7,97500                              | 2,768869                        | 9,945179                             | 2,992985                        | 11,11125                             | 3,053789                        | 14,66304                             | 3,928474                        |
| Usitnjavanje | 58  | 7,860517                             | 2,553435                        | 9,720862                             | 2,486316                        | 11,0281                              | 2,552518                        | 13,51931                             | 3,305829                        |
| Humci        | 73  | 7,514521                             | 2,167205                        | 9,08863                              | 2,227195                        | 11,2089                              | 2,683157                        | 16,39438                             | 4,731751                        |



D0 2010 – izmjeren promjer na bazi stabljike (mm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2011 – izmjeren promjer na bazi stabljike (mm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2012 – izmjeren promjer na bazi stabljike (mm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2013 – izmjeren promjer na bazi stabljike (mm) na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.51.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. – 2013.).

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između pojedinih tretiranja (načina sadnje i načina pripreme staništa) ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,517359$  (tablica 6.41.). Postoji statistički značajna razlika u interakciji između godina te godina i tretiranja ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). To pokazuje da se tretiranja tijekom godina ne ponašaju jednako, što se uočava i na slici 6.51.

**Tablica 6.41.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE    | 36,51         | 2                 | 18,26     | 0,661   | 0,517359 |
| POGREŠKA      | 5078,71       | 184               | 27,60     |         |          |
| R1            | 5006,77       | 3                 | 1668,92   | 529,032 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 273,50        | 6                 | 45,58     | 14,450  | 0,000001 |
| POGREŠKA      | 1.741         | 552               | 3,15      |         |          |

„Post hoc” Tuckey testom (tablica 6.42.) potvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između svih godina (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.42.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

|   | R1       | {1}<br>7,7597 | {2}<br>9,5412 | {3}<br>11,124 | {4}<br>14,984 |
|---|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | D0 2010. |               | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |
| 2 | D0 2011. | 0,000008      |               | 0,000008      | 0,000008      |
| 3 | D0 2012. | 0,000008      | 0,000008      |               | 0,000008      |
| 4 | D0 2014. | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |               |

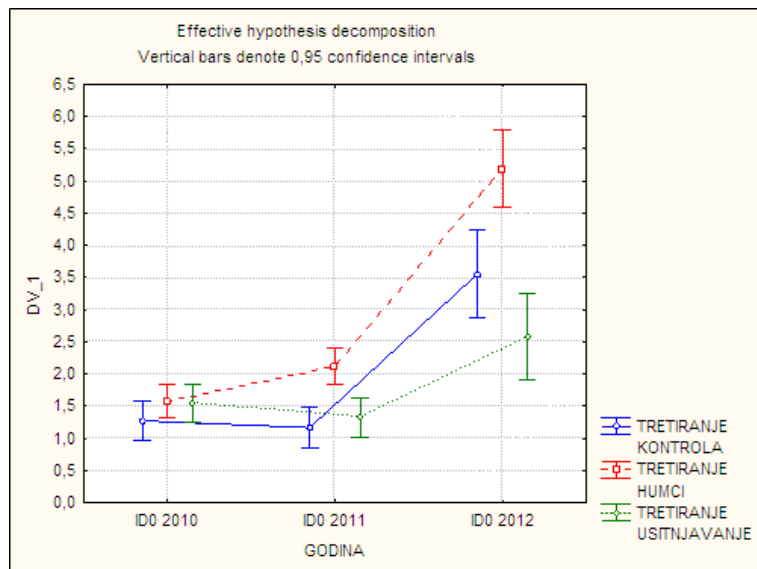
#### 6.7.4.6. Debljinski prirast na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

Na slici 6.52. uočava se trend debljinskoga prirasta na bazi stabljike (ID0) pomlatka hrasta kitnjaka u promatranom razdoblju. Nakon gotovo jednakoga debljinskoga prirasta pomlatka

posađenog na humke i onoga posađenog na pokusnim plohama „usitnjavanja” u prvoj godini, najbolji debljinski prirast tijekom ostalih godina pokazuju biljke sađene na humke (tablica 6.43.). U trećoj godini nakon presadnje najveća je razlika između pomlatka sađenog na humke ( $s = 0,52$  cm) i pomlatka na pokusnim plohama „usitnjavanja” ( $s = 0,26$ ). Veći debljinski prirast pomlatka na pokusnim plohama „usitnjavanja” u 2011. i 2012. godini naglo se smanjuje u trećoj godini. Tada ove biljke pokazuju najmanji prirast od biljaka na ostalim ispitivanim tretiranjima. Pomladak na kontrolnim plohama, nakon najslabijega debljinskoga prirasta u prvim dvjema godinama, ima srednje vrijednosti u usporedbi s ostalim tretiranjima. Prirast biljaka u tim dvama tretiranjima neznatno se smanjuje u drugoj godini, dok se debljinski prirast pomlatka posađenog na humcima kontinuirano povećava. On svake godine raste sve brže. Standardne se devijacije povećavaju tijekom godina za sva tretiranja, dok je najveća vrijednost standardne devijacije utvrđena za pomladak posađen na humcima.

**Tablica 6.43.** Deskriptivna statistika za debljinski prirast na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012.

|              | N   | ID0 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2010.<br>- St.<br>devijacija | ID0 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2011. -<br>St.<br>devijacija | ID0 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2012. -<br>St.<br>devijacija |
|--------------|-----|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Ukupno       | 186 | 1,477                                 | 1,125412                         | 1,590                                 | 1,246093                         | 3,896                                 | 2,809385                         |
| Kontrola     | 56  | 1,274                                 | 0,949897                         | 1,166                                 | 0,662284                         | 3,552                                 | 2,243017                         |
| Usitnjavanje | 57  | 1,553                                 | 0,977055                         | 1,328                                 | 1,148932                         | 2,582                                 | 1,75617                          |
| Humci        | 73  | 1,574                                 | 1,332787                         | 2,120                                 | 1,465788                         | 5,185                                 | 3,30046                          |



IDO 2010 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

IDO 2011 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

IDO 2012 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.52.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2011. – 2012.).

Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja prikazani su u tablici 6.44. Analizom je utvrđeno da postoji statistički značajna razlika između tretiranja, vrijednosti izmjenjenih u svim trima godinama te između tretiranja tijekom godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,00001$ ). Ovakvi rezultati pokazuju da se tretiranja tijekom godina ponašaju različito.

**Tablica 6.44.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F        | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|----------|----------|
| TRETIRANJE    | 149,794       | 2                 | 74,897    | 21,7841  | 0,000001 |
| POGREŠKA      | 629,183       | 183               | 3,44      |          |          |
| R1            | 630,520       | 2                 | 315,260   | 106,0270 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 114,470       | 4                 | 28,618    | 9,6245   | 0,000001 |
| POGREŠKA      | 1088,262      | 366               | 2,973     |          |          |

Tablica 6.45. prikazuje rezultate „post hoc” Tuckey testa. Uočava se statistički značajna razlika između tretiranja. Iz tablice 6.45. vidi se i da se debljinski prirast pomlatka na kontrolnim plohama i plohama „usitnjavanja” statistički značajno ne razlikuje. Ipak, dokazano je da bolji debljinski prirast pomlatka sađenog na humke u usporedbi s ostalim tretiranjima nije slučajna, nego je statistički značajan ( $p < 0,05$ ,  $p < 0001$ ). Tablica 6.45. također pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika debljinskoga prirasta na početku istraživanja, tj. u prvim dvjema godinama, ali se prirast u trećoj godini značajno razlikuje ( $p < 0.05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.45.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina” između tretiranja i godina

|   | TRETIRANJE   | {1}<br>1,9972 | {2}<br>1,8209 | {3}<br>2,9600 |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | KONTROLA     |               | 0,655862      | 0,000023      |
| 2 | USITNJAVANJE | 0,655862      |               | 0,000022      |
| 3 | HUMCI        | 0,000023      | 0,000022      |               |

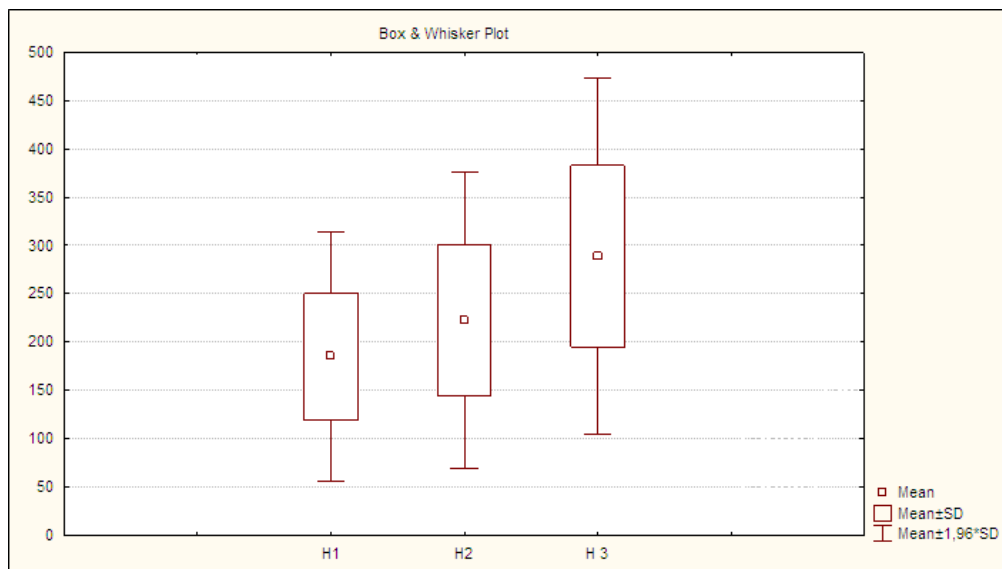
|   | R1    | {1}<br>1,4772 | {2}<br>1,5901 | {3}<br>3,8958 |
|---|-------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | ID0 2 |               | 0,802987      | 0,000022      |
| 2 | ID0 3 | 0,802987      |               | 0,000022      |
| 3 | ID0 4 | 0,000022      | 0,000022      |               |

#### 6.7.4.7. Visina mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Srednje visine mladika hrasta kitnjaka u šestoj godini nakon presađnje na teren iznose 184,8 cm. Najmanja visina u ovoj godini iznosi 49,9 cm, a najviša 325 cm, dok je standardna devijacija 65,7 cm. Srednja visina mladika u sedmoj godini za 38 cm je viša od srednje visine u šestoj godini, a iznosi 222,7 cm (tablica 6.46.). Najmanja je visina u ovoj godini 65 cm, kao i u osmoj godini. Najviše stabalce u sedmoj godini nakon presađnje bilo je visoko 389 cm, a u osmoj godini 515 cm. Visina mladika hrasta kitnjaka po godinama grafički je prikazana na slici 6.53. s 95 %-tnim intervalom pouzdanosti.

**Tablica 6.46.** Deskriptivna statistika za visine mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012.

| VARIJABLA | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|-----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| H 2010.   | 88 | 184,785             | 49,90   | 325,00   | 65,65348       |
| H 2011.   | 88 | 222,730             | 65,00   | 389,00   | 78,45899       |
| H 2012.   | 88 | 288,693             | 65,00   | 515,00   | 94,04845       |



H 1 – izmjerena visina (cm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

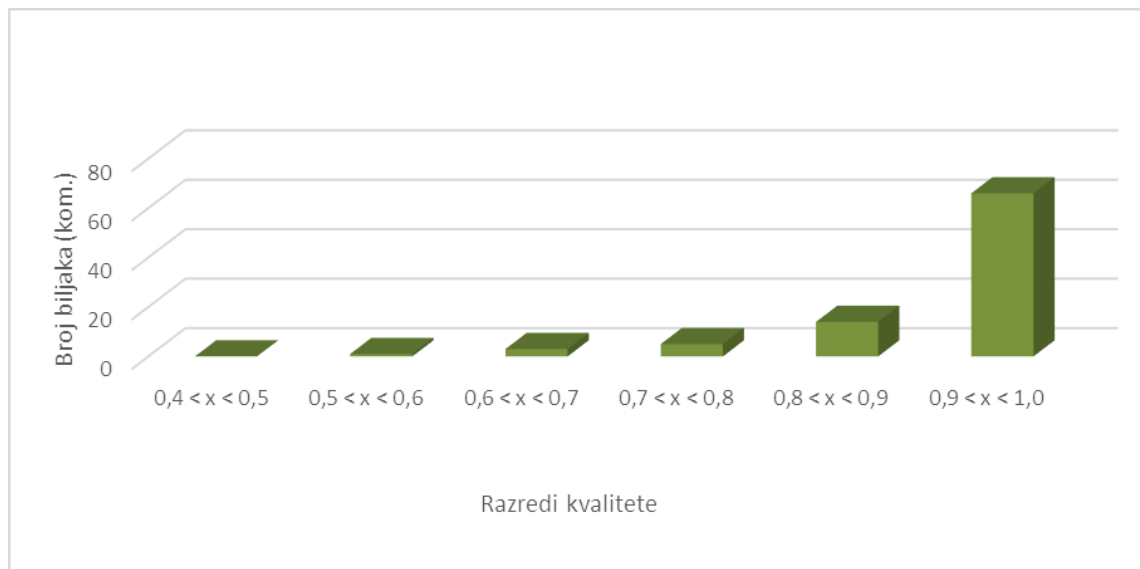
H 2 – izmjerena visina (cm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 3 – izmjerena visina (cm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.53.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. – 2012.)

#### 6.7.4.8. Kvaliteta mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Kvaliteta mladika na ovim je pokusnim plohama utvrđena s pomoću kvocijenta visine i dužine stabljike mjerene do baze vršnog pupa (pravnost stabljike). U izračun su uzeti parametri od ukupno 89 stabala. Aritmetička sredina pravnosti stabljike (kvocijent visine i duljine) iznosi 0,915, pri čemu najmanji kvocijent iznosi 0,507, a najveći 1. Slika 6.54. prikazuje broj stabalaca hrasta kitnjaka po razredima kvalitete. Najveći broj stabalaca nalazi se u razredu od 0,9 do 1,0 (74,15 % ili 66 stabalaca). U nižem razredu kvalitete (0,8 – 0,9) nalazi se 15,7 % ili 23 stabalaca, dok se u nižim razredima nalazi preostalih 10,15 % ili 9 stabala.



**Slika 6.54.** Kvocijant visine i duljine stabljike mladika hrasta kitnjaka po razredima kvalitete na lokalitetu „Gornja Kupčina” u 2010. godini

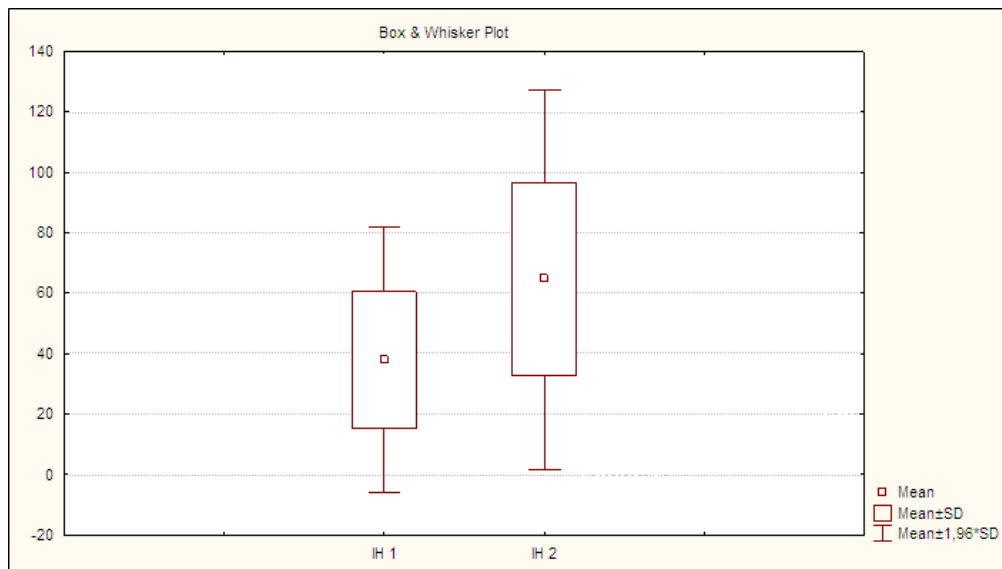
#### 6.7.4.9. Visinski prirast mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Na slici 6.55. prikazan je visinski prirast mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina”. Srednja vrijednost visinskog prirasta mladika hrasta kitnjaka 2011. godine iznosi 37,9 cm. Najmanji visinski prirast u toj godini iznosi 2,7 cm, a najviši 87 cm, dok je standardna devijacija 22,5 cm. Srednja je vrijednost visinskog prirasta mladika u osmoj godini (2012. godine) za 26,7 cm viša od srednje vrijednosti visinskoga prirasta u sedmoj godini, a iznosi 64,6 cm (tablica 6.47.). Najmanja vrijednost visinskoga prirasta u toj godini iznosi 0 cm, a najveća 148 cm. Standardna je devijacija veća u osmoj godini i iznosi 32 cm.

**Tablica 6.47.** Deskriptivna statistika za visinski prirast mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2011.

| VARIJABLA | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|-----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| IH 2010.  | 88 | 37,945              | 2,70    | 87,00    | 22,50248       |
| IH 2011.  | 88 | 64,614              | 0,00    | 148,00   | 32,03788       |





IH 1 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

IH 2 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

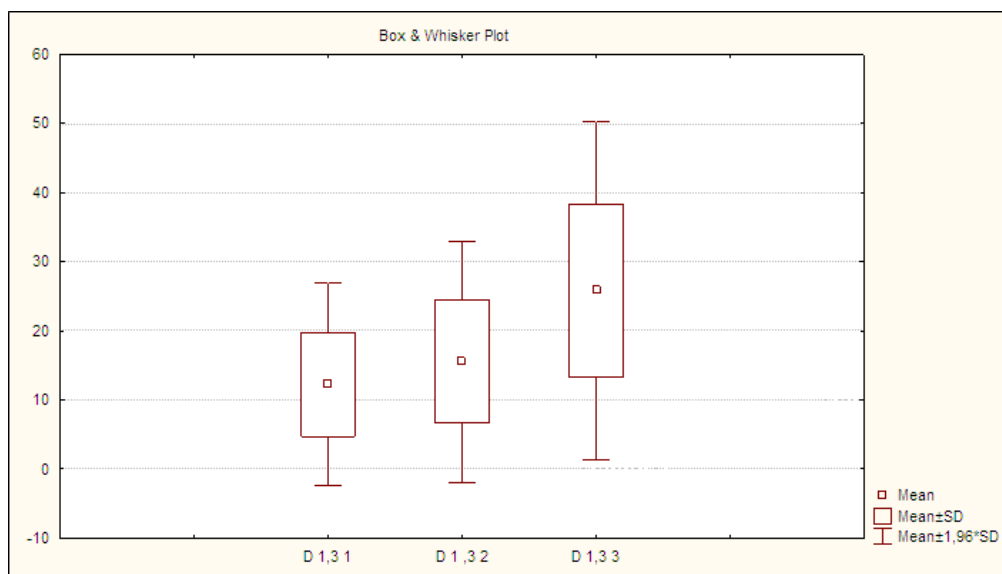
**Slika 6.55.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2011. – 2011.).

#### 6.7.4.10. Prsni promjer mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Promjer na visini od 1,30 m (D 1,3) u mladiku hrasta kitnjaka mjeren je u razdoblju od 2010. do 2012. godine. Na svim trima ponavljanjima, od ukupno 88 stabala, njih 77 ili 87,5 % u šestoj je godini doseglo prsnu visinu te je ušlo u statističku obradu. U sedmoj godini 93,2 % stabalaca doseglo je prsnu visinu, a u osmoj godini 95,5 %. Aritmetička sredina promjera na prsnoj visini u šestoj godini nakon sadnje hrasta kitnjaka iznosi 1,2 cm. Najveći prsni promjer u šestoj godini iznosi 3,23 cm, u sedmoj godini 3,87 cm, a u osmoj godini 5,4 cm (tablica 6.48.). Standardna devijacija ima najveću vrijednost u osmoj godini nakon sadnje, a iznosi 0,75 cm. Prvi prsni promjer mladika hrasta kitnjaka po godinama na ovom lokalitetu prikazan je na slici 6.56.

**Tablica 6.48.** Deskriptivna statistika za prsni promjer mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012.

| VARIJABLA  | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|------------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| D1,3 2010. | 77 | 12,226              | 0,00    | 32,38    | 7,51157        |
| D1,3 2011. | 82 | 15,554              | 1,50    | 38,74    | 8,90943        |
| D1,3 2012. | 84 | 25,763              | 3,74    | 54,01    | 12,51908       |



D 1,3 1 – izmjeren prsni promjer biljaka (mm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D 1,3 2 – izmjeren prsni promjer biljaka (mm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D 1,3 3 – izmjeren prsni promjer biljaka (mm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

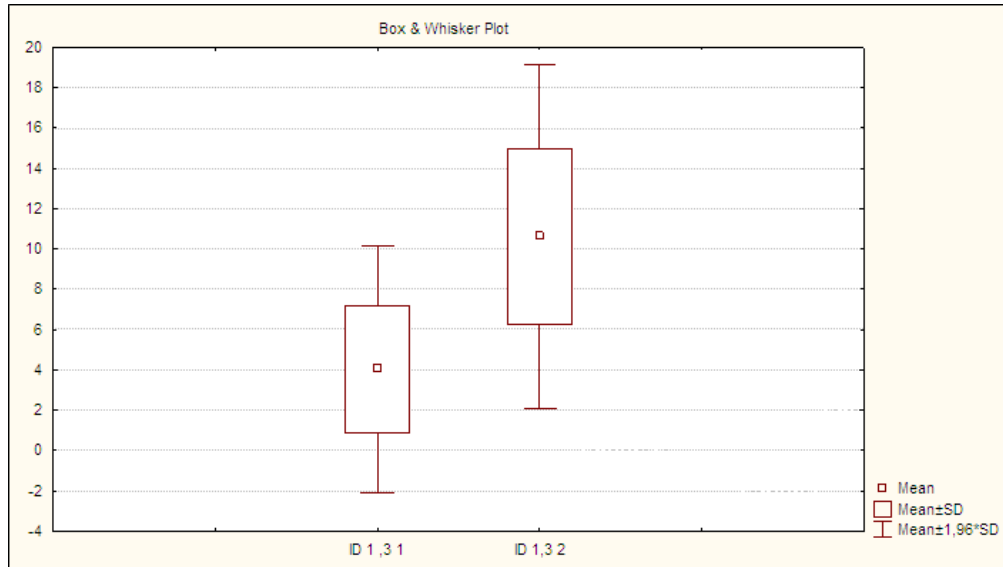
**Slika 6.56.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prsni promjer mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. – 2012.)

#### 6.7.4.11. Prirast prsnoga promjera mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Na slici 6.57. prikazan je debljinski prirast (ID 1,3) na prsnoj visini mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina. Srednja vrijednost debljinskog prirasta na prsnoj visini mladika hrasta kitnjaka u sedmoj godine iznosi 0,4 cm, a u osmoj godini nakon sadnje 1,06 cm (tablica 6.49.). Najveći debljinski prirast na prsnoj visini u sedmoj godini iznosi 2,53 cm, a u osmoj godini 1,93 cm. Standardna je devijacija u sedmoj godini 0,31 cm, a u osmoj godini 0,43 cm. Najviše stabalaca u osmoj godini nakon sadnje (73,8 %) ima debljinski prirast na prsnoj visini u rasponu od 0,5 do 1,5 cm.

**Tablica 6.49.** Deskriptivna statistika za prsni promjer mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2011. godine

| VARIJABLA  | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|------------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| D1,3 2010. | 83 | 4,036               | 0,32    | 25,28    | 3,135300       |
| D1,3 2011. | 84 | 10,579              | 0,81    | 19,27    | 4,352030       |



ID 1,3 1 – prirast prsnoga promjera biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

ID 1,3 2 – prirast prsnoga promjera biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

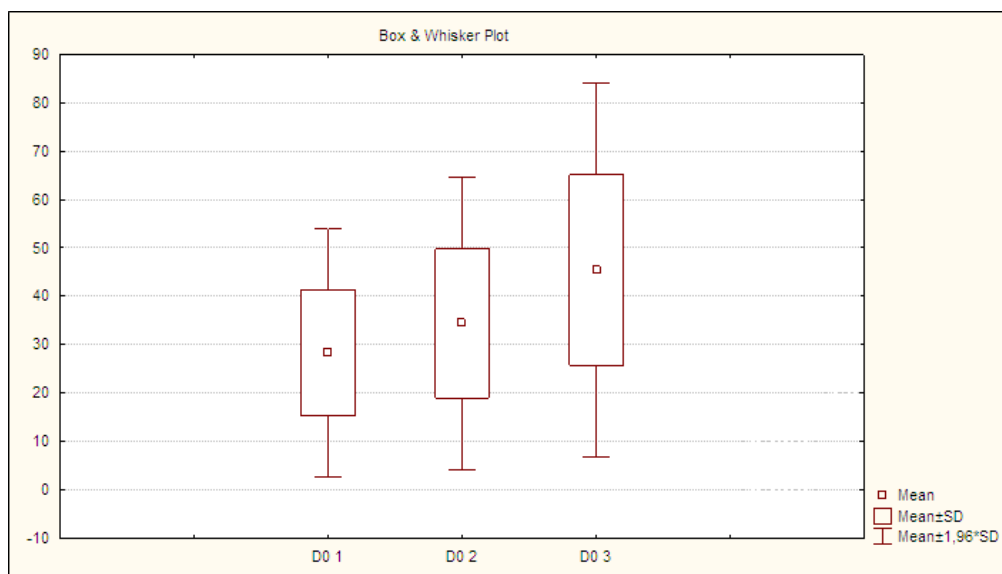
**Slika 6.57.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast prsnoga promjera mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. – 2011.).

#### 6.7.4.12. Promjer na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Promjer na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka mjereno je svake godine u razdoblju od 2010. do 2012. godine, dakle u šestoj, sedmoj i osmoj godini nakon sadnje. Aritmetička sredina promjera na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka iznosi 2,82 cm, 3,43 cm te 4,53 cm za svaku promatranu godinu. Najmanji promjer u šestoj godini iznosi 0,6 cm, a najveći 6,1 cm. Standardna devijacija u toj godini iznosi 1,31 cm. Najmanji promjer u sedmoj godini jednak je onomu u šestoj. Najmanji je promjer u osmoj godini za 0,2 cm veći od prethodnih. Standardna devijacija raste s godinama (tablica 6.50.). Najveći je promjer u sedmoj godini i iznosi 7,4 cm, a u osmoj 9 cm. Navedeni podatci grafički su prikazani na slici 6.58.

**Tablica 6.50.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012. godine

| VARIJABLA | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|-----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| D0 2010.  | 88 | 28,282              | 5,98    | 61,00    | 13,060020      |
| D0 2011.  | 88 | 34,363              | 6,56    | 74,60    | 15,369730      |
| D0 2012.  | 88 | 45,386              | 8,60    | 90,46    | 19,672660      |



D0 1 – promjer izmjeren na bazi stabljike biljaka (mm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2 – promjer izmjeren na bazi stabljike biljaka (mm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 3 – promjer izmjeren na bazi stabljike biljaka (mm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.58.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2011. – 2012.).

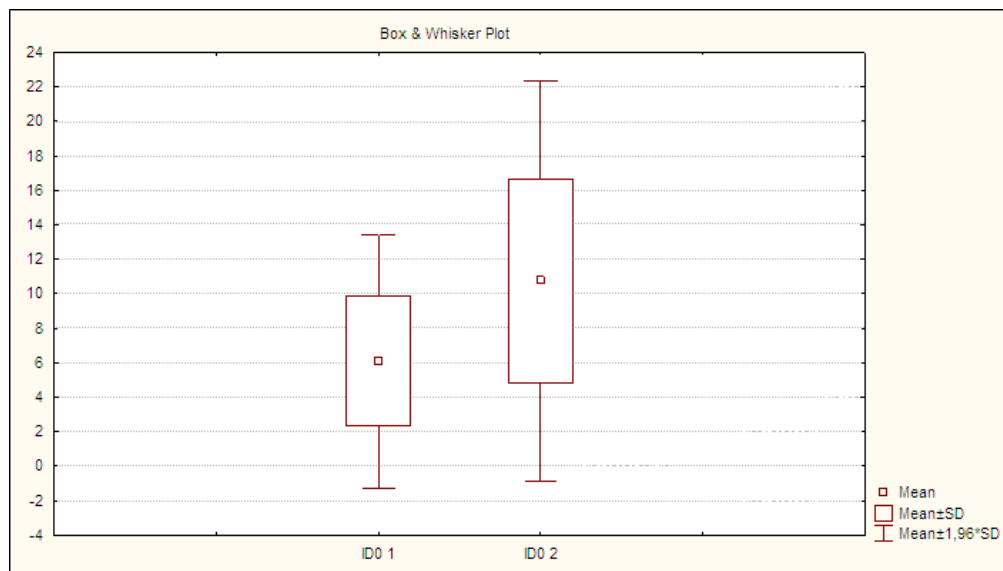
#### 6.7.4.13. Debljinski prirast na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka na lokalitetu „Gornja Kupčina“

Srednje vrijednosti debljinskoga prirasta na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka kreće se od 2,82 (u šestoj godini) do 4,53 cm (u osmoj godini), što se uočava u tablici 6.51. Najmanji promjer u šestoj godini nakon sadnje iznosi 0,6 cm, a najveći 6,1 cm. Najmanji promjer na bazi stabljike u sedmoj godini iznosi 0,66 cm, a najveći 7,46 cm, dok je u osmoj 0,86 cm i 9,05 cm. Vrijednosti standardne devijacije kreću se od 1,31 cm (u šestoj godini) do 1,97 cm (u osmoj godini). Navedeni podatci grafički su prikazani na slici 6.59. 23,9 % stabala ima promjere na bazi

stabljike u debljinskom razredu od 0,5 do 1 cm, 29,5 % u rasponu od 1 do 1,5 cm, a 21,6 % stabala u rasponu od 1,5 do 2 cm.

**Tablica 6.51.** Deskriptivna statistika za debljinski prirast na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2011. godine

| VARIJABLA | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|-----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| ID0 2010. | 88 | 6,082               | 0,03    | 19,40    | 3,746772       |
| ID0 2011. | 88 | 10,743              | 0,03    | 26,24    | 5,908833       |



ID0 1 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

ID0 2 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

**Slika 6.59.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike mladika hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Gornja Kupčina” (2010. – 2011.).

## 6.8. Jednostavna supstitucija u pojasu klimatogenih šumskih zajednica obične bukve (lokalitet „Doljani“)

### 6.8.1. Jednostavna supstitucija kulture obične smreke sjetvom sjemena u pojasu klimatogenih šumskih zajednica obične bukve

#### 6.8.1.1. Broj ponika i pomlatka iz sjemena hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“

Na lokalitetu „Doljani“ broj ponika i pomlatka (N) hrasta kitnjaka iz sjemena analiziran je prema različitim načinima pripreme šumske prostirke i tla za sjetvu, tj. tretiranja. Ukupno su analizirana četiri različita tretiranja (KONTROLA – bez pripreme, NEMA H – metoda skarifikacije, LISTINAC – dodavanje bukova listinca, S – usitnjavanje). Srednja vrijednost broja ponika u prvoj godni nakon sjetve kretala se od 61 do 126 biljaka po tretiranju. Najveća srednja vrijednost broja biljaka utvrđena je na pokusnim plohama „usitnjavanja“ u prvoj godini, kao i na lokalitetu „Gornja Kupčina“ (tablica 6.52., Slika 6.60.). U drugoj godini broj se biljaka smanjuje, iako pokusne plohe „usitnjavanja“ i dalje imaju najveći broj biljaka (94). Najmanje srednje vrijednosti broja biljaka utvrđene su na kontrolnim pokusnim plohama te pokusnim plohama na kojima je primiješan bukov listinac kako bi se potaknula razgradnja. Odnos broja biljaka u drugoj godini po pojedinoj metodi sličan je broju tek izniklih biljaka u prvoj godini.



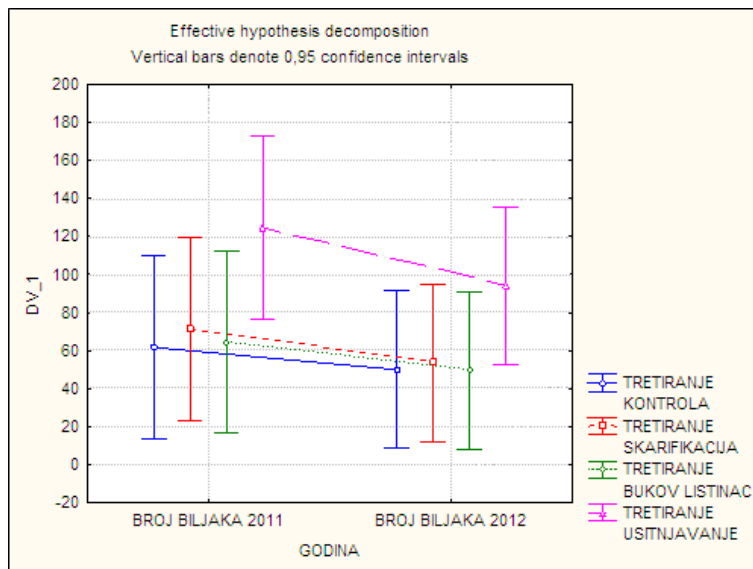
**Slika 6.60.** Pomladak hrasta kitnjaka iz sjemena u srpnju 2013. godine (lokalitet „Doljani“, jednostavna supstitucija, „pod motiku“)

Na skarificiranim pokusnim plohama u prvoj godini utvrđena je prosječno 1,65 biljaka/1 m<sup>2</sup>, dok je na ostalim tretiranjima utvrđeno manje od jedne biljke po 1 m<sup>2</sup>. Na skarificiranim su plohama najmanje vrijednosti standardne devijacije u prvoj godini (sd = 19,6), dok su najveće vrijednosti pri tretiranju „kontrola” (sd = 46,5). Najmanje vrijednosti standardne devijacije u drugoj godini imaju plohe skarifikacije (sd = 24,9), a najveće opet kontrolne plohe (sd = 38,97).

**Tablica 6.52.** Deskriptivna statistika za broj ponika i pomlatka iz sjemena hrasta kitnjaka u razdoblju 2011. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani”

|                | N  | N 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2011. -<br>St.<br>devijacija | N 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2012. -<br>St.<br>devijacija |
|----------------|----|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Ukupno         | 12 | 80,5                                | 40,78436                       | 61,83                               | 32,89331                       |
| Kontrola       | 3  | 61,67                               | 46,54389                       | 50                                  | 38,97435                       |
| Skarificiranje | 3  | 71,33                               | 34,21013                       | 53,67                               | 24,94661                       |
| Listinac       | 3  | 64,33                               | 38,07011                       | 49,67                               | 29,14332                       |
| Usitnjavanje   | 3  | 124,67                              | 19,65536                       | 94                                  | 29,5973                        |

Na slici 6.61. grafički je prikazan broj ponika i pomlatka za sve načine pripreme tla i šumske prostirke za sadnju sjemena hrasta kitnjaka. Na slici 6.61. uočava se da se tretiranje „usitnjavanjem“ jasno odvađa od ostalih tretiranja. Uočena se razlika smanjuje u drugoj godini nakon sadnje.



BROJ BILJAKA 2011. – evidentirani broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2011. godine

BROJ BILJAKA 2012. – evidentirani broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2012. godine

**Slika 6.61.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka iz sjemena hrasta kitnjaka po godinama i tretiranjima na lokalitetu „Doljani”.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajnih razlika ni između pojedinih načina pripreme šumske prostirke i tla ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,228985$ ), ni između pojedinih tretiranja tijekom dvije godine opažanja ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,159061$ ). Ipak, između broja biljaka tijekom promatranih godina postoji statistički značajna razlika ( $p < 0,5$ ,  $p = 0,000152$ ) (tablica 6.53.). To znači da je smanjenje broja biljaka u drugoj godini statistički značajno. Opisane razlike između pojedinih načina sjetve hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani” nakon primjene jednostavne supstitucije, a koje su uočene na slici 6.61., nisu statistički značajne.

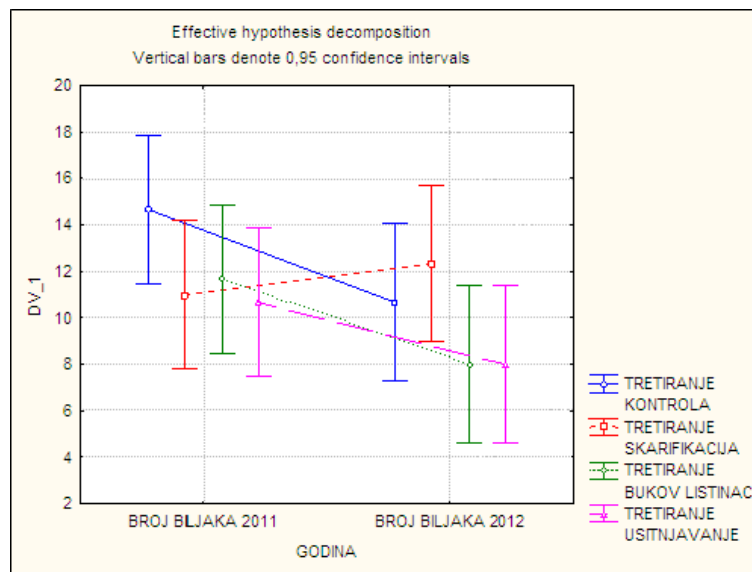
**Tablica 6.53.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za broj biljaka iz sjemena hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F        | p               |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|----------|-----------------|
| TRETIRANJE    | 11805,7       | 3                 | 3935,2    | 1,77806  | 0,228985        |
| POGREŠKA      | 17705,7       | 8                 | 2.213,20  |          |                 |
| R1            | 2090,7        | 1                 | 2.090,700 | 44,92032 | <b>0,000152</b> |
| R1*TRETIRANJE | 315,0         | 3                 | 105,0     | 2,25604  | 0,159061        |
| POGREŠKA      | 372,3         | 8                 | 46,5      |          |                 |



## 6.8.1.2. Broj ponika i pomlatka iz sjemena obične bukve na lokalitetu „Doljani“

Na lokalitetu „Doljani“ broj ponika i pomlatka (N) obične bukve iz sjemena analiziran je, kao i za hrast kitnjak, prema četirima različitim načinima pripreme organske pokrivke i tla za sjetvu (KONTROLA – bez pripreme, NEMA H – metoda skarifikacije, LISTINAC – popravljjanje tla dodavanjem bukova listinca, S – usitnjavanje). Srednje vrijednosti broja preživjelog ponika (pomlatka) u jesen 2011. godine bio je nizak za sva tretiranja. Kretao se od 11 do 15 biljaka po tretiranju (tablica 6.54., slika 6.62.). Razlog malom broju biljaka jesu štete od mraza koji se pojavio u travnju 2011. godine. Štete su bile jakog intenziteta i gotovo su u potpunosti smanjile broj ponika. U drugoj je godini nastavljeno smanjenje broja biljaka, zbog čega nije dalje praćen uspjeh sjetve.



BROJ BILJAKA 2011. – evidentirani broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2011. godine

BROJ BILJAKA 2012. – evidentirani broj biljaka na kraju vegetacijskog razdoblja 2012. godine

**Slika 6.62.** 95 %-tni interval pouzdanosti za ukupan broj ponika i pomlatka iz sjemena obične bukve po tretiranjima na lokalitetu „Doljani“.

**Tablica 6.54.** Deskriptivna statistika za ukupan broj ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena prema različitim načinima pripreme staništa na lokalitetu „Doljani”

|                | N  | N 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2011. - St.<br>devijacija | N 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2012. - St.<br>devijacija |
|----------------|----|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Ukupno         | 12 | 12                                  | 2,628515                    | 9,75                                | 2,895922                    |
| Kontrola       | 3  | 14,67                               | 4,163332                    | 10,67                               | 3,511885                    |
| Skarifikiranje | 3  | 11                                  | 1                           | 12,33                               | 1,527525                    |
| Listinac       | 3  | 11,67                               | 2,081666                    | 8                                   | 2,645751                    |
| Usitnjavanje   | 3  | 10,67                               | 0,57735                     | 8                                   | 2                           |

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajnih razlika ni između pojedinih metoda pripreme staništa i načina sjetve ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,265878$ ), ni između pojedinih opažanja tijekom dvije godine izmjere ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,094272$ ) (tablica 6.55.). Statistički značajna razlika utvrđena je samo između dvaju vremenskih opažanja.

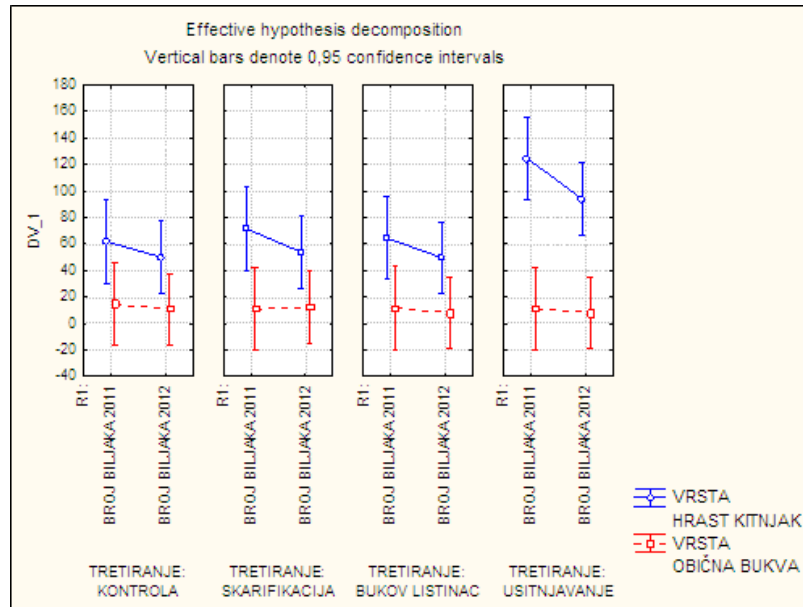
**Tablica 6.55.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za ukupan broj ponika i pomlatka iz sjemena obične bukve na lokalitetu „Doljani”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE    | 43,792        | 3                 | 14,579    | 1,5924  | 0,265878 |
| POGREŠKA      | 73,333        | 8                 | 9,167     |         |          |
| R1            | 30,375        | 1                 | 30,375    | 10,1250 | 0,012959 |
| R1*TRETIRANJE | 27,125        | 3                 | 9,042     | 3,0139  | 0,094272 |
| POGREŠKA      | 24,000        | 8                 | 3,000     |         |          |

### 6.8.1.3. Usporedba sjetve hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani”

Na uspjeh sjetve obične bukve i hrasta kitnjaka snažno je utjecala pojava kasnog mraza 2011. godine. Usporedba između vrsta napravljena je za sva tretiranja te obje godine izmjere. Za obje vrste te sva četiri tretiranja utvrđeno je smanjenje broja biljaka (N) u drugoj godini. Najveća razlika između vrsta postoji u tretiranju „usitnjavanjem“ koje se jasno izdvaja od ostalih (slika 6.63.). Razlika se odnosi na velik broj ponika i pomlatka hrasta kitnjaka u usporedbi s običnom

bukvom. Razlike između hrasta kitnjaka i obične bukve slične su za ostala tretiranja. U svim je tretiranjima evidentiran veći broj biljaka hrasta kitnjaka od obične bukve.



BROJ BILJAKA 2011. – evidentirani broj biljaka (kom.) na kraju vegetacijskog razdoblja 2011. godine

BROJ BILJAKA 2012. – evidentirani broj biljaka (kom.) na kraju vegetacijskog razdoblja 2012. godine

**Slika 6.63.** 95 %-tni interval pouzdanosti za ukupni broj biljaka obične bukve i hrasta kitnjaka iz sjemena, po tretiranjima, u dvije godine izmjere na lokalitetu „Doljani”

Analizom varijance ponovljenih mjerenja dokazana je statistički značajna razlika između pojedinih vrsta na ovome lokalitetu ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (tablica 6.56.). Također postoji statistički značajna razlika u broju biljaka tijekom dvije godine izmjere ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) te između vrsta tijekom vremena ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Statistički značajna razlika nije potvrđena između pojedinih tretiranja ( $p > 0,5$ ,  $p = 0,2206$ ) te između tretiranja po pojedinoj vrsti ( $p > 0,5$ ,  $p = 0,167303$ ).

**Tablica 6.56.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za ukupan broj biljaka obične bukve i hrasta kitnjaka iz sjemena na lokalitetu „Doljani” po tretiranjima i godinama

|                     | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F        | p        |
|---------------------|---------------|-------------------|-----------|----------|----------|
| VRSTA               | 43621,02      | 1                 | 43621,02  | 39,25622 | 0,000011 |
| TRETIRANJE          | 5454,23       | 3                 | 1818,08   | 1,63616  | 0,220600 |
| VRSTA*TRETIRANJE    | 6395,23       | 3                 | 2131,74   | 1,91844  | 0,167303 |
| POGREŠKA            | 17779,00      | 16                | 1111,19   |          |          |
| R1                  | 1312,52       | 1                 | 1312,52   | 52,98654 | 0,000002 |
| R1*VRSTA            | 808,52        | 1                 | 808,52    | 32,64003 | 0,000032 |
| R1*TRETIRANJE       | 157,06        | 3                 | 52,35     | 2,11354  | 0,138689 |
| R1*VRSTA*TRETIRANJE | 185,06        | 3                 | 61,69     | 2,49033  | 0,097401 |
| POGREŠKA            | 396,33        | 16                | 24,77     |          |          |

## 6.8.2. Supstitucija kulture obične smreke sadnjom sadnica u vegetacijskom pojasu obične bukve

## 6.8.2.1. Preživljenje posadenih sadnica hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“

Na pokusnim plohama na ovome lokalitetu posađeno je ukupno 75 biljaka po pojedinoj metodi pripreme staništa (25 biljaka x 3 ponavljanja). Kako su istražene ukupno dvije metode (primjena bukova listinca i kontrolna metoda) ukupno je posađeno 150 sadnica hrasta kitnjaka. Od toga broja, nakon tri godine istraživanja, ukupno je na pokusnim plohama ostalo 145 biljaka hrasta kitnjaka (96,67 %). Preživljenje u prvoj godini na kontrolnim pokusnim plohama iznosi 97,33 % (73 biljke su preostale na pokusnim plohama). U drugoj godini sve su biljke preživjele, uključujući i dvije zamijenjene biljke. U trećoj su se godini posušile četiri biljke pa preživljenje iznosi 94,67 % (71 biljka zdrava). Na ovome tretiranju u drugoj i trećoj godini nakon sadnje nije bilo polusuhih biljaka (procijenjeno okularno prema boji lišća). U trećoj godini jedna je biljka imala posušen vršni izbojak.

Na pokusnim plohama na kojima je primiješan bukov listinac preživljenje u prvoj godini iznosi 93,33 % (70 biljaka). Na kraju prvoga vegetacijskog razdoblja nakon sadnje suhe su biljke zamijenjene zdravima iz tzv. rezerve sadnoga materijala. U sljedećoj godini sve su biljke preživjele. Na kraju treće godine (trećega vegetacijskog razdoblja) nakon osnivanja pokusnih ploha, posušila se samo jedna biljka te je preživljenje iznosilo 98,67 % (74 zdrave biljke). U drugoj godini jedna je biljka procijenjena kao polusuha, ali se ona oporavila u trećoj godini, iako

samo s neznatnim visinskim prirastom od 1,1 cm. U drugoj godini na ovome tretiranju dvije su biljke imale suhi vršni izbojak, ali su sljedeće godine procijenjene kao potpuno zdrave.

#### 6.8.2.2. *Visina pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani“*

Na početku istraživanja u obama je tretiranjima zabilježena podjednaka srednja visina (H) (44,8 cm na kontrolnim plohama te 44,2 cm na plohama s listincem). Ovakva neznatna prednost biljaka na kontrolnim pokusnim plohama na samome početku istraživanja povećava se tijekom sljedeće tri godine (tablica 6.57.). Najveća je razlika u četvrtoj godini (22,4 cm), kada srednja vrijednost visina pomlatka na kontrolnim pokusnim plohama iznosi 119,8 cm, a na plohama s bukovim listincem 97,4 cm. Pomladak hrasta kitnjaka na kontrolnim plohama uočava se na slici 6.64. Standardna devijacija visina u prvoj je godini manja kod kontrolnih ploha (9,07 cm). Ona je u drugoj i četvrtoj godini jednaka, a u trećoj za 10 cm manja kod pokusnih ploha s bukovim listincem.

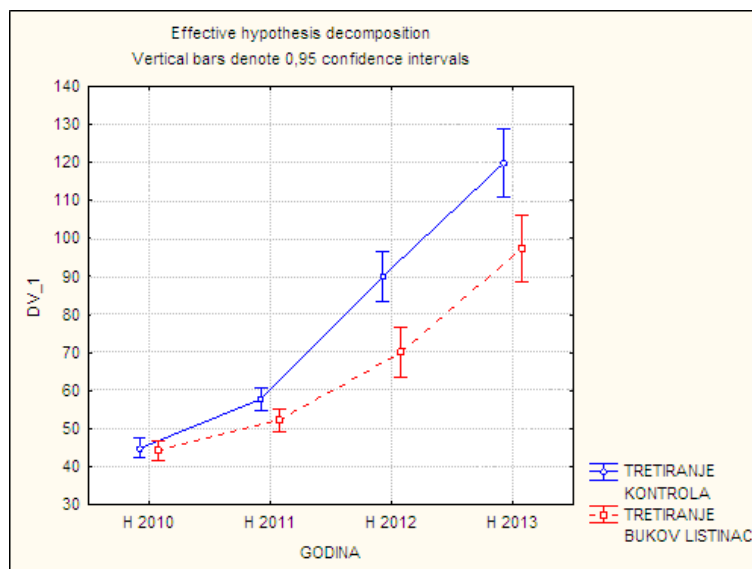
**Tablica 6.57.** Deskriptivna statistika za visinu pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2013. godine na lokalitetu „Doljani“

|                | N   | H 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2010. -<br>St.<br>devijacija | H 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2011. -<br>St.<br>devijacija | H 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2012. -<br>St.<br>devijacija | H 2013. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2013. -<br>St.<br>devijacija |
|----------------|-----|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Ukupno         | 145 | 44,51034                            | 10,8718                        | 54,94276                            | 13,11026                       | 79,79172                            | 29,71825                       | 108,391                             | 39,81583                       |
| Kontrola       | 71  | 44,84507                            | 9,07217                        | 57,80563                            | 12,72078                       | 89,89577                            | 32,09267                       | 119,807                             | 38,46008                       |
| Bukov listinac | 74  | 44,18919                            | 12,41042                       | 52,19595                            | 12,97153                       | 70,0973                             | 23,66379                       | 97,4378                             | 38,21528                       |



**Slika 6.64.** Pomladak i mladik hrasta kitnjaka u ljeto 2013. godine (četiri godine nakon presadnje) na kontrolnim pokusnim ploham na lokalitetu „Doljani“

Na slici 6.65. uočava se trend visina pomlatka hrasta kitnjaka u promatranom razdoblju i prema pojedinim metodama pripreme staništa.



H 2010 – visina (cm) izmjerena na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2011 – visina (cm) izmjerena na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2012 – visina (cm) izmjerena na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2013 – visina (cm) izmjerena na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.65.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka hrasta kitnjaka po godinama i po tretiranjima na lokalitetu „Doljani“

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoji statistički značajna razlika između pojedinih metoda pripreme staništa ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,000309$ ) (tablica 6.58.). Veće visine pomlatka hrasta kitnjaka na kontrolnim plohama, koje se mogu vidjeti na slici 6.65., nisu statistički značajne. Statistički značajna razlika postoji i između pojedinih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Statistički značajna razlika utvrđena je i u interakciji između tretiranja i godina, što pokazuje da se tretiranja tijekom godina ne ponašaju jednako.

**Tablica 6.58.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani” od 2010. do 2013. godine

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE    | 21250         | 1                 | 21250     | 13,678  |          |
| POGREŠKA      | 222162        | 143               | 1554      |         | 0,000309 |
| R1            | 355014        | 3                 | 118338    | 358,577 |          |
| R1*TRETIRANJE | 12241         | 3                 | 4080      | 12,363  | 0,000001 |
| POGREŠKA      | 141579        | 429               | 330       |         | 0,000001 |

Iz tablice 6.59. vidi se da postoji statistički značajna razlika između visina pomlatka u svim promatranim godinama (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.59.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

|   | R1      | {1}<br>44,510 | {2}<br>54,943 | {3}<br>79,792 | {4}<br>108,39 |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | H 2010. |               | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |
| 2 | H 2011. | 0,000013      |               | 0,000008      | 0,000008      |
| 3 | H 2012. | 0,000008      | 0,000008      |               | 0,000008      |
| 4 | H 2013. | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |               |

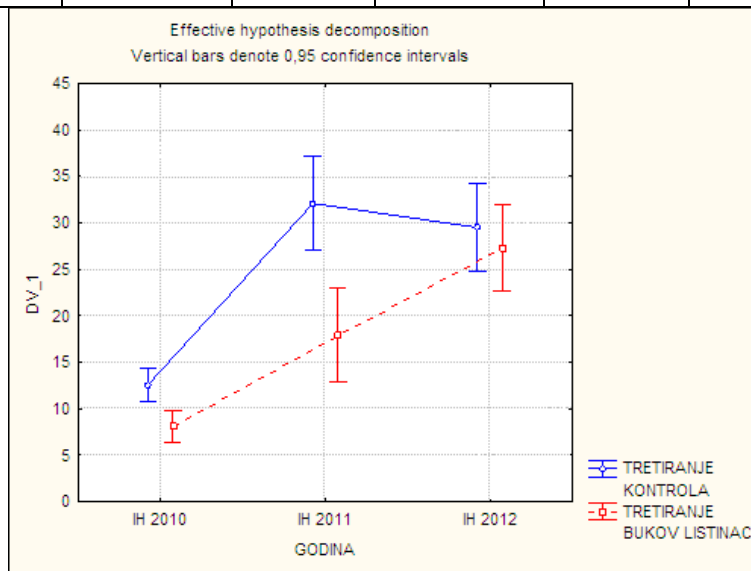
### 6.8.2.3. Visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

Na slici 6.66. uočava se trend visinskog prirasta (IH) pomlatka hrasta kitnjaka u promatranom razdoblju prema pojedinih metodama pripreme staništa. U svim promatranim godinama najbolji visinski prirast imaju biljke na kontrolnim pokusnim plohama. Srednje vrijednosti visinskoga prirasta po godinama prikazane su u tablici 6.60. Visinski prirast na

kontrolnim plohama pokazuje velik porast u drugoj godini (s 12,59 cm na 32,08 cm), a u trećoj godini ima nešto nižu vrijednost (za 2,6 cm). Razlika visinskoga prirasta između dviju promatranih metoda najveća je u drugoj godini (za 14,17 cm), a najmanja u trećoj (za 2,15 cm). Trend visinskoga prirasta pomlatka hrasta kitnjaka na pokusnim plohama s bukovim listincem kontinuirano raste u svim godinama izmjere. Standardne su devijacije veće na kontrolnim plohama u prvim dvjema godinama, dok su u trećoj godini manje za 1,2 cm od pokusnih ploha s bukovim listincem.

**Tablica 6.60.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani” u razdoblju od 2010. do 2012. godine

|                | N   | IH 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2010. -<br>St.<br>devijacija | IH 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2011. -<br>St.<br>devijacija | IH 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2012. -<br>St.<br>devijacija |
|----------------|-----|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Ukupno         | 146 | 10,3                                 | 8,030683                        | 24,899                               | 22,91047                        | 28,403                               | 20,32251                        |
| Kontrola       | 72  | 12,592                               | 9,401135                        | 32,082                               | 25,07744                        | 29,496                               | 19,70341                        |
| Bukov listinac | 74  | 8,070                                | 5,649845                        | 17,911                               | 18,181                          | 27,341                               | 20,98669                        |



IH 2010 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

IH 2011 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

IH 2012 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.66.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).



Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoji statistički značajna razlika između pojedinih metoda pripreme staništa u visinskom prirastu ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,000645$ ) (tablica 6.61.). Veći visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na kontrolnim ploham, što se uočava na slici 6.66., nisu statistički značajni. Statistički značajna razlika postoji i između pojedinih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Kao i u slučaju visina, postoji statistički značajna razlika i u interakciji između tretiranja i godina, što pokazuje da se tretiranja tijekom godina ne ponašaju jednako.

**Tablica 6.61.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE    | 5287,0        | 1                 | 5287,0    | 12,1689 | 0,000645 |
| POGREŠKA      | 62563,6       | 144               | 434,5     |         |          |
| R1            | 26952,9       | 2                 | 13476,4   | 52,0702 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 2957,1        | 2                 | 1478,6    | 5,7128  | 0,003689 |
| POGREŠKA      | 74538,2       | 288               | 258,8     |         |          |

„Post hoc” Tuckey testom dokazano je da postoji statistički značajna razlika između visinskog prirasta u prvoj godini. On se značajno razlikuje od prirasta u drugoj i trećoj godini (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (tablica 6.62.). Kao što se uočava na slici 6.66., prirast u prvoj godini mnogo je manji od prirasta u ostalim godinama.

**Tablica 6.62.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visine pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

|   | R1   | {1}      | {2}      | {3}      |
|---|------|----------|----------|----------|
|   |      | 10,300   | 24,899   | 28,403   |
| 1 | IH 2 |          | 0,000022 | 0,000022 |
| 2 | IH 3 | 0,000022 |          | 0,150166 |
| 3 | IH 4 | 0,000022 | 0,150166 |          |

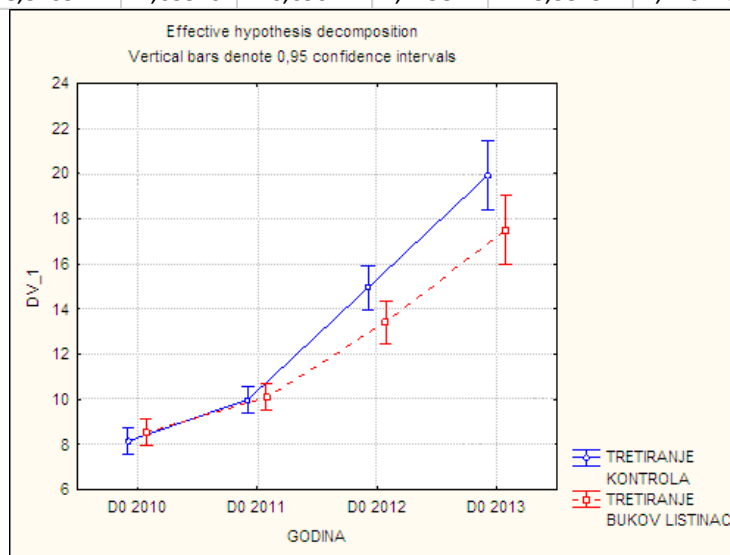
#### 6.8.2.4. Promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

U prvim dvjema izmjerama (početni promjer na bazi stabljike 2010. godine – D0 1 i promjer na bazi stabljike 2011. godine – D0 2) približno jednake srednje vrijednosti imaju oba

tretiranja (0,8 cm). Pri tome su promjeri pomlatka na pokusnim ploham s bukovim listincem neznatno bolji (tablica 6.63.). U drugoj i trećoj godini dolazi do razlika u korist kontrolnih ploha. Daljnje povećanje razlike između tretiranja uočeno je u trećoj godini nakon sadnje. Trend promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u promatranom razdoblju prema pojedinim metodama pripreme tla prikazan je na slici 6.67.

**Tablica 6.63.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2013. godine na lokalitetu „Doljani”

|                | N   | D0 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2010. -<br>St.<br>devijacija | D0 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2011. -<br>St.<br>devijacija | D0 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2012. -<br>St.<br>devijacija | D0 2013. -<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2013. -<br>St.<br>devijacija |
|----------------|-----|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Ukupno         | 145 | 8,351724                             | 2,493132                        | 10,04414                             | 2,557119                        | 14,14641                             | 4,208009                        | 18,69103                             | 6,694981                        |
| Kontrola       | 71  | 8,15493                              | 2,340012                        | 9,9962                               | 2,394243                        | 14,94282                             | 4,072813                        | 19,93099                             | 6,863144                        |
| Bukov listinac | 74  | 8,540541                             | 2,63376                         | 10,09014                             | 2,719811                        | 13,3823                              | 4,220743                        | 17,50135                             | 6,349835                        |



D0 2010 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2011 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2012 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2013 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.67.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama i načinu pripreme staništa na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2013.).

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između pojedinih tretiranja (načina pripreme staništa) na ovome lokalitetu ( $p > 0,05$ ,  $p =$

0,145694) (tablica 6.64.). Opisane razlike između pojedinih tretiranja, koje su uočene na slici 6.67., nisu statistički značajne. Ipak, postoji statistički značajna razlika u interakciji između godina te godina i tretiranja ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ), što nam pokazuje da se tretiranja tijekom godina ne ponašaju jednako.

**Tablica 6.64.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

|                    | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|--------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE         | 111,64        | 1                 | 111,64    | 2,140   | 0,145694 |
| POGREŠKA           | 7460,08       | 143               | 52,17     |         |          |
| VRIJEME            | 9316,49       | 3                 | 3105,50   | 433,529 | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE | 196,20        | 3                 | 65,40     | 9,130   | 0,000007 |
| POGREŠKA           | 3073,06       | 429               | 7,16      |         |          |

„Post hoc” Tuckey testom (tablica 6.65.) potvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između svih godina (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.65.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

|   | VRIJEME | {1}<br>8,3517 | {2}<br>10,044 | {3}<br>14,146 | {4}<br>18,691 |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | D0 1    |               | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |
| 2 | D0 2    | 0,000008      |               | 0,000008      | 0,000008      |
| 3 | D0 3    | 0,000008      | 0,000008      |               | 0,000008      |
| 4 | D0 4    | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |               |

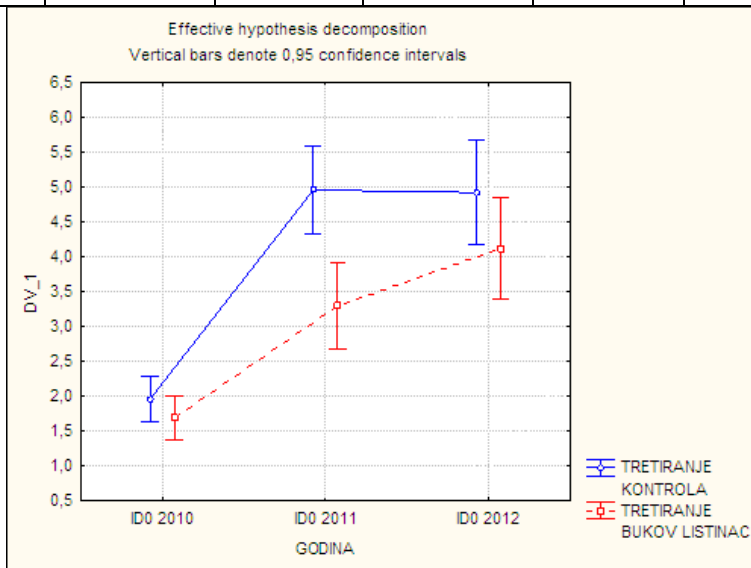
#### 6.8.2.5. Prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

Na slici 6.68. uočava se trend debljinskoga prirasta na bazi stabljike (ID 0) pomlatka hrasta kitnjaka u promatranom razdoblju. Nakon približno jednakoga debljinskoga prirasta pomlatka na obama tretiranjima u prvoj godini, najbolji debljinski prirast na bazi stabljike tijekom ostalih godina pokazuju biljke sađene na kontrolnim plohama (tablica 6.66.). Najveća razlika u debljinskome prirastu između tretiranja u drugoj je godini te iznosi 1,66 mm. U trećoj godini

nakon presadnje razlika debljinskog prirasta iznosi 0,8 mm. Pomladak na kontrolnoj plohi, kao i u slučaju visinskoga prirasta, naglo raste u drugoj godini. Prirast pomlatka na pokusnim plohama s bukovim listincem kontinuirano raste, u drugoj godini nešto brže od treće godine. Standardne se devijacije povećavaju tijekom godina za sva tretiranja, dok je u drugoj godini gotovo jednaka za oba. U prvoj i trećoj godini standardne su devijacije su veće kod kontrolnih ploha (0,4 i 0,5 mm).

**Tablica 6.66.** Deskriptivna statistika za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka u razdoblju od 2010. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani”

|                | N   | ID0 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2010. -<br>St.<br>devijacija | ID0 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2011. -<br>St.<br>devijacija | ID0 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2012. -<br>St.<br>devijacija |
|----------------|-----|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Ukupno         | 146 | 1,821                                 | 1,376174                         | 4,112                                 | 2,779816                         | 4,513                                 | 3,224512                         |
| Kontrola       | 72  | 1,959                                 | 1,564292                         | 4,955                                 | 2,694064                         | 4,919                                 | 3,477616                         |
| Bukov listinac | 74  | 1,686                                 | 1,1595                           | 3,292                                 | 2,628083                         | 4,119                                 | 2,927497                         |



ID0 2010 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

ID0 2011 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

ID0 2012 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.68.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).

Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja prikazani su u Tablici 6.67. Analizom je utvrđeno da postoji statistički značajna razlika između tretiranja ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,002861$ ),

debljinskih prirasta tijekom tri godine izmjere ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) te između tretiranja tijekom godina ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,022813$ ). Razlike u trendu debljinskoga prirasta na bazi stabljike pomlatka svih tretiranja, koje se uočavaju na slici 6.68., statistički su značajne. Ovakvi rezultati analize varijance upućuju i na to da se tretiranja tijekom godina ne ponašaju jednako.

**Tablica 6.67.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani”

|                    | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|--------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE         | 91,088        | 1                 | 91,088    | 9,2073  | 0,002861 |
| POGREŠKA           | 1424,598      | 144               | 9,893     |         |          |
| VRIJEME            | 619,078       | 2                 | 309,538   | 65,9819 | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE | 35,940        | 2                 | 17,970    | 3,8305  | 0,022813 |
| POGREŠKA           | 1351,088      | 288               | 4,691     |         |          |

Tablica 6.68. prikazuje rezultate „post hoc” Tuckey testa. Uočava se statistički značajna razlika između debljinskoga prirasta u prvoj ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) i prirasta u drugoj i trećoj godini.

**Tablica 6.68.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani” po godinama

|   | VRIJEME | {1}      | {2}      | {3}      |
|---|---------|----------|----------|----------|
|   |         | 1,8206   | 4,1124   | 4,5135   |
| 1 | ID0 2   |          | 0,000022 | 0,000022 |
| 2 | ID0 3   | 0,000022 |          | 0,253319 |
| 3 | ID0 4   | 0,000022 | 0,253319 |          |

#### 6.8.2.6. Preživljenje posađenih sadnica obične bukve na lokalitetu „Doljani”

Na pokusnim plohama na ovome lokalitetu posađeno je ukupno 75 biljaka obične bukve po pojedinoj metodi pripreme staništa (25 biljaka x 3 ponavljanja). Kako su istražene ukupno dvije metode (primjena bukova listinca i kontrolna metoda), kao i u slučaju hrasta kitnjaka, ukupno je posađeno, mjereno i analizirano 150 sadnica obične bukve. Od toga broja, nakon tri

godine istraživanja, ukupno je na pokusnim plohama preostalo 128 biljaka ove vrste (85,33 %). To je za 11,34 % ili 17 biljaka manje preživljenje od preživljenja hrasta kitnjaka.

Preživljenje u prvoj godini na kontrolnim pokusnim plohama iznosi 92 % (69 biljke su preostale na pokusnim plohama). U drugoj je godini, unatoč zamjeni posušenih biljaka, preživjelo 70 biljaka (93,33 %). Od zamijenjenih biljaka obične bukve nijedna se nije posušila do kraja istraživanja. U trećoj je godini utvrđen najveći broj suhih biljaka (13 biljaka) te je u ovoj godini najmanje preživljenje od svih tretiranja na ovome lokalitetu, uključujući i hrast kitnjak, a koje iznosi 82,67 %. U tome tretiranju u drugoj godini jedna je biljka procijenjena kao polusuha, a jedna je imala posušen vršni izbojak. U trećoj godini dvije su biljke procijenjene kao polusuhe, a nijedna biljka nije imala suhi izbojak.

Na pokusnim plohama na kojima je primiješan bukov listinac preživljenje ponika obične bukve u prvoj godini iznosi 100 % (75 biljaka). U drugoj godini dolazi do znatnijeg sušenja biljaka u ovome tretiranju (utvrđene štete od mraza na dijelu pokusnih ploha u drugoj godini praćenja, travanj 2011. godine). Na kraju druge godine utvrđeno je 67 zdravih biljaka u pokusu, a preživljenje iznosi 89,33 %. U idućoj godini utvrđena je jedna suha biljka više. U drugoj i trećoj godini nije bilo polusuhih biljaka u vremenu izmjere na pokusnim plohama. Jedna je biljka imala suh vršni izbojak u drugoj godini, nakon čega se potpuno posušila.

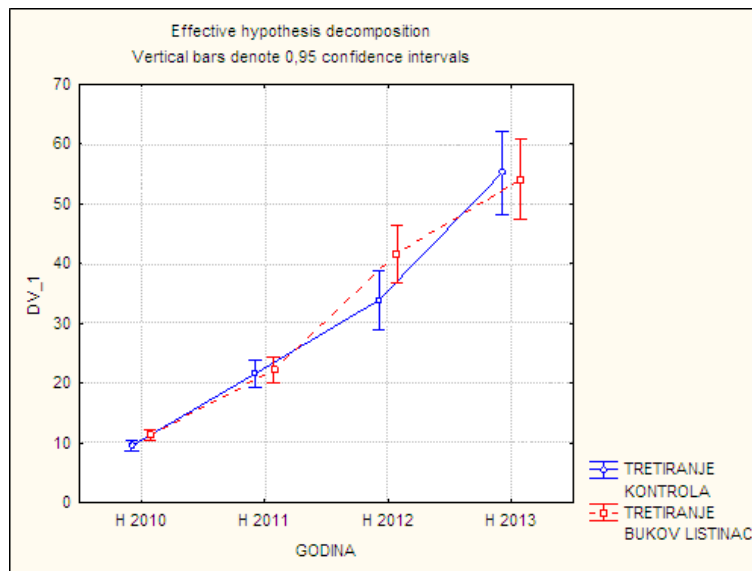
#### *6.8.2.7. Visina pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani“*

Na slici 6.69. prikazan je trend visina (H) pomlatka obične bukve u promatranom razdoblju na pokusnim plohama na kojima je primiješan bukov listinac te na kontrolnim pokusnim plohama. Na početku istraživanja početna izmjera visina pokazuje kako su visine podjednake te nema znatnijih razlika između tretiranja (3,1 i 3,55 cm). U drugoj izmjeri (nakon prvoga vegetacijskog razdoblja) razlike su između visina na tretiranjima najmanje te iznose tek 0,99 cm. U drugome vegetacijskom razdoblju nakon presađnje na teren (H 3) pomladak na pokusnim plohama s bukovim listincem ima veće vrijednosti ( $s = 41,58$  cm) od biljaka na kontrolnim plohama ( $s = 33,89$  cm). U toj je godini utvrđena najveća razlika između tretiranja (7,69 cm). U trećemu vegetacijskom razdoblju nakon presađnje na teren razlika se opet smanjuje (1,04 cm), pri čemu biljke na kontrolnim plohama imaju nešto veće srednje vrijednosti visina (tablica 6.69.). Standardne devijacije visina na pojedinim su tretiranjima podjednake u svim godinama, osim u

drugom vegetacijskom razdoblju. Tada razlika iznosi 6,55 cm, a najveće su vrijednosti vezane za tretiranje bukovima listincem.

**Tablica 6.69.** Deskriptivna statistika za visinu pomlatka obične bukve u razdoblju od 2010. do 2013. godine na lokalitetu „Doljani”

|                | N   | H 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2010. -<br>St.<br>devijacija | H 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2011. -<br>St.<br>devijacija | H 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2012. -<br>St.<br>devijacija | H 2013. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2013. -<br>St.<br>devijacija |
|----------------|-----|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Ukupno         | 128 | 10,43750                            | 3,452148                       | 21,90000                            | 8,819958                       | 37,85156                            | 19,60494                       | 54,70078                            | 27,56700                       |
| Kontrola       | 62  | 9,5                                 | 3,103409                       | 21,61774                            | 8,53063                        | 33,8871                             | 15,6381                        | 55,2371                             | 27,73316                       |
| Bukov listinac | 66  | 11,31818                            | 3,552503                       | 22,16515                            | 9,140687                       | 41,57576                            | 22,18991                       | 54,19697                            | 27,61297                       |



H 2010 – visina (cm) izmjerena na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2011 – visina (cm) izmjerena na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2012 – visina (cm) izmjerena na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2013 – visina (cm) izmjerena na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.69.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2013.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između visina biljaka na kontrolnim pokusnim plohama i plohama na kojima je primiješan bukovi listinac ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,347631$ ) (tablica 6.70.). Stoga se može zaključiti da opisane razlike između tretiranja, koje su uočene na slici 6.69., nisu statistički značajne. Statistički značajna

razlika postoji između pojedinih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) te između tretiranja i godina, što nam pokazuje da se tretiranja tijekom godina ne ponašaju jednako.

**Tablica 6.70.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F        | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|----------|----------|
| TRETIRANJE    | 649,4         | 1                 | 649,4     | 0,8887   | 0,347631 |
| POGREŠKA      | 92071,2       | 126               | 730,7     |          |          |
| R1            | 142532,1      | 3                 | 47510,7   | 286,8517 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 1390,3        | 3                 | 463,4     | 2,7980   | 0,039964 |
| POGREŠKA      | 62607,4       | 378               | 165,6     |          |          |

Iz tablice 6.71. uočava se da postoji statistički značajna razlika između visina u svim promatranim godinama (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.71.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

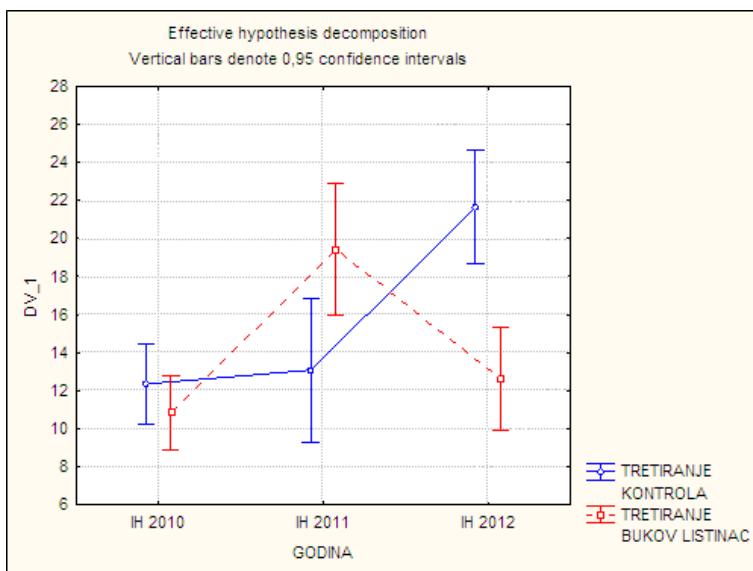
|   | R1      | {1}<br>10,437 | {2}<br>21,900 | {3}<br>37,852 | {4}<br>54,701 |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | H 2010. |               | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |
| 2 | H 2011. | 0,000008      |               | 0,000008      | 0,000008      |
| 3 | H 2012. | 0,000008      | 0,000008      |               | 0,000008      |
| 4 | H 2014. | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |               |

#### 6.8.2.8. Visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

Na slici 6.70. prikazan je trend visinskoga prirasta (IH) pomlatka obične bukve u promatranom razdoblju također prema pojedinim metodama pripreme staništa. Nakon prve godine istraživanja nešto bolji visinski prirast imaju biljke na kontrolnim pokusnim plohama ( $s = 10,35$  cm) od biljaka na pokusnim plohama s bukovim listincem ( $s = 10,85$  cm). Razlika je visinskoga prirasta velika u drugoj godini istraživanja u korist metode s bukovim listincem ( $s = 19,41$  cm) (tablica 6.72.). Visinski prirast biljaka na ovome se tretiranju smanjuje u trećoj godini, a prirast biljaka na kontrolnim plohama naglo raste. Najveća razlika visinskog prirasta između



tretiranja uočena je u trećemu vegetacijskom razdoblju, kada iznosi 9,01 cm. Najveća razlika standardnih devijacija visinskoga prirasta zabilježena je u trećemu vegetacijskom razdoblju.



IH 2010 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

IH 2011 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

IH 2012 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.70.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i na kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2012.

**Tablica 6.72.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka obične bukve u razdoblju od tri godine (2010. do 2012. godine) na lokalitetu „Doljani”

|          | N   | IH 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2010. -<br>St.<br>devijacija | IH 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2011. -<br>St.<br>devijacija | IH 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | IH 2012. -<br>St.<br>devijacija |
|----------|-----|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Ukupno   | 121 | 11,5314                              | 7,937937                        | 16,53554                             | 14,49045                        | 16,71818                             | 12,02894                        |
| Kontrola | 55  | 12,35273                             | 8,052762                        | 13,08545                             | 10,45047                        | 21,63455                             | 14,24771                        |
| Listinac | 66  | 10,84697                             | 7,83635                         | 19,41061                             | 16,68674                        | 12,62121                             | 7,80967                         |

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između visinskoga prirasta bukova pomlatka na pojedinim tretiranjima ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,400006$ ) (tablica 6.73.). Iako ne postoje statistički značajne razlike između pojedinih tretiranja, potvrđena

je razlika između pojedinih vegetacijskih razdoblja (godina) te između tretiranja po godinama ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Ovakva nam interakcija pokazuje da se visinski prirasti na promatranim tretiranjima ne ponašaju jednako.

**Tablica 6.73.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE    | 175,89        | 1                 | 175,89    | 0,7134  | 0,400006 |
| POGREŠKA      | 29339,08      | 119               | 246,55    |         |          |
| R1            | 2117,55       | 2                 | 1058,78   | 14,7560 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 3529,56       | 2                 | 1764,78   | 24,5955 | 0,000001 |
| POGREŠKA      | 17077,01      | 238               | 71,75     |         |          |

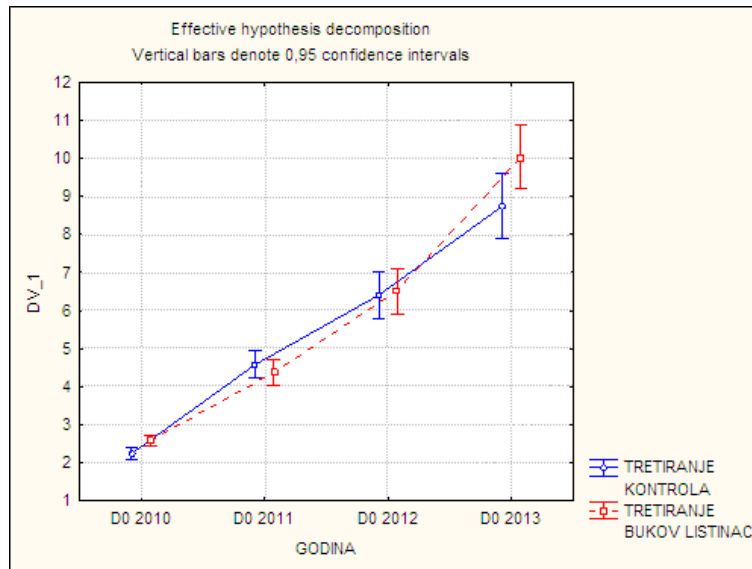
„Post hoc” Tuckey testom dokazano je da postoji statistički značajna razlika samo između prirasta u prvoj godini. On se znatno razlikuje od prirasta u ostalim godinama ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (tablica 6.74.). Razlike između visinskoga prirasta u drugoj i trećoj godini nema.

**Tablica 6.74.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

|   | R1       | {1}<br>11,531 | {2}<br>16,536 | {3}<br>16,718 |
|---|----------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | IH 2010. |               | 0,000033      | 0,000027      |
| 2 | IH 2011. | 0,000033      |               | 0,984620      |
| 3 | IH 2012. | 0,000027      | 0,984620      |               |

#### 6.8.2.9. Promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

Trend promjera na bazi stabljike (ID0) pomlatka obične bukve u promatranom razdoblju prema pojedinim metodama pripreme tla prikazan je na slici 6.71. Tijekom prvih triju izmjera (nulto stanje i prva dva vegetacijska razdoblja) trend promjera na bazi stabljike varira za oba tretiranja te se oni izmjenjuju tek uz neznatne razlike. Biljke na pokusnim plohama s bukovim listincem te kontrolnim plohama prikazane su na slici 6.72.



D0 2010 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2011 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2012 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

D0 2013 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.71.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i na kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2013.



**Slika 6.72.** Obična bukva tri godine nakon presadnje na lokalitetu „Doljani“ (kontrola lijevo, listinac desno)

Tek u trećemu vegetacijskom razdoblju dolazi do veće razlike u promjeru između promatranih tretiranja i to u korist biljaka na pokusnim plohama s bukovim listincem (10,3 mm u usporedbi s 8,74 mm na kontrolnim plohama). Vrijednosti standardnih devijacija kolebaju tijekom godina, ali su vrijednosti približno jednake za oba tretiranja (tablica 6.75.).

**Tablica 6.75.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve u razdoblju od 2010. do 2013. godine na lokalitetu „Doljani”

|                | N   | D0 2010. -          | D0 2010. -     | D0 2011. -          | D0 2011. -     | D0 2012. -          | D0 2012. -     | D0 2013. -          | D0 2013. -     |
|----------------|-----|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                |     | Aritmetička sredina | St. devijacija | Aritmetička sredina | St. devijacija | Aritmetička sredina | St. devijacija | Aritmetička sredina | St. devijacija |
| Ukupno         | 128 | 2,421875            | 0,609755       | 4,475156            | 1,401455       | 6,4575              | 2,399071       | 9,40828             | 3,474128       |
| Kontrola       | 62  | 2,241935            | 0,591898       | 4,582581            | 1,233307       | 6,407742            | 2,049308       | 8,74161             | 3,180123       |
| Bukov listinac | 66  | 2,590909            | 0,581173       | 4,374242            | 1,545546       | 6,504242            | 2,701784       | 10,03455            | 3,642672       |

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između promjera na bazi stabljike bukova pomlatka na pojedinim tretiranjima ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,211950$ ) (tablica 6.76.). Ne postoje statistički značajne razlike između pojedinih tretiranja. Statistički značajna razlika utvrđena je između pojedinih vegetacijskih razdoblja (godina) te između tretiranja po godinama ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ), kao i u slučaju visina i visinskoga prirasta. Ovakva nam interakcija pokazuje kako se promjeri na bazi stabljike u promatranim tretiranjima ne ponašaju jednako.

**Tablica 6.76.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

|                    | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|--------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE         | 18,71         | 1                 | 18,71     | 1,574   | 0,211950 |
| POGREŠKA           | 1497,80       | 126               | 11,88     |         |          |
| VRIJEME            | 3381,87       | 3                 | 1127,29   | 424,576 | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE | 40,31         | 3                 | 13,44     | 5,061   | 0,001900 |
| POGREŠKA           | 1003,63       | 378               | 2,66      |         |          |

„Post hoc” Tuckey testom (tablica 6.77.) potvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između svih godina (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.77.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani“

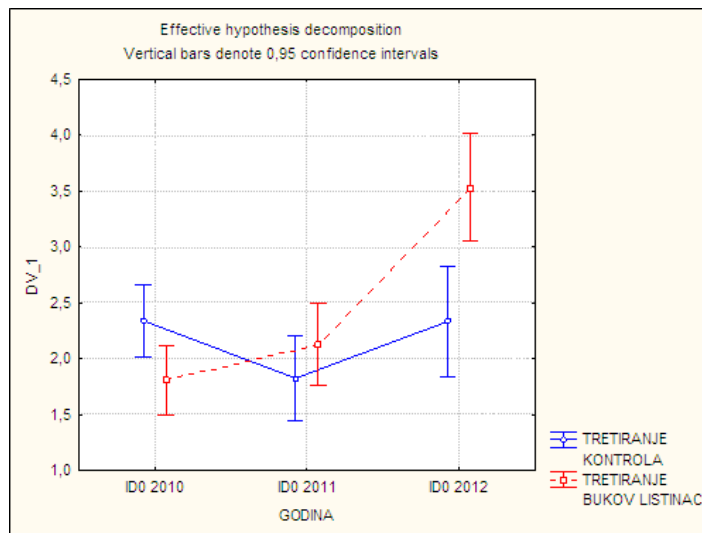
|   | VRIJEME  | {1}<br>2,4219 | {2}<br>4,4752 | {3}<br>6,4575 | {4}<br>9,4083 |
|---|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | D0 2010. |               | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |
| 2 | D0 2011. | 0,000008      |               | 0,000008      | 0,000008      |
| 3 | D0 2012. | 0,000008      | 0,000008      |               | 0,000008      |
| 4 | D0 2013. | 0,000008      | 0,000008      | 0,000008      |               |

#### 6.8.2.10. Prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani“

Na slici 6.73. prikazan je trend debljinskoga prirasta na bazi stabljike (ID0) pomlatka obične bukve u promatranom razdoblju. Tijekom prvih dvaju vegetacijskih razdoblja srednje se vrijednosti debljinskih prirasta kreću od 1,2 do 2,3 mm. U prvome vegetacijskom razdoblju neznatno bolji debljinski prirast (za 0,5 mm) pokazuju biljke na kontrolnim pokusnim plohama. U drugome vegetacijskom razdoblju bolji prirast pokazuju biljke na pokusnim plohama s bukovim listincem (za 0,3 mm) (tablica 6.78.). Povećanje debljinskoga prirasta u trećoj godini pokazuju biljke na tretiranju s bukovim listincem, kada se bilježi i najveći prirast od 3,53 mm. Biljke na kontrolnim pokusnim plohama uz neznatan pad u drugoj godini imaju vrijednosti slične vrijednostima u prvoj godini. Standardne se devijacije neznatno povećavaju tijekom godina za sva tretiranja. Razlika je u standardnim devijacijama između tretiranja neznatna.

**Tablica 6.78.** Deskriptivna statistika za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve u razdoblju od 2010. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani“

|                | N   | ID0 2010. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2010. -<br>St.<br>devijacija | ID0 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2011. -<br>St.<br>devijacija | ID0 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | ID0 2012. -<br>St.<br>devijacija |
|----------------|-----|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Ukupno         | 128 | 2,067                                 | 1,305579                         | 1,982                                 | 1,499823                         | 2,951                                 | 2,053717                         |
| Kontrola       | 62  | 2,341                                 | 1,263434                         | 1,825                                 | 1,287516                         | 2,334                                 | 1,920652                         |
| Bukov listinac | 66  | 1,811                                 | 1,301612                         | 2,13                                  | 1,671444                         | 3,530                                 | 2,018644                         |



ID0 2010 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

ID0 2011 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

ID0 2012 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.73.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i na kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2012.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da nema statistički značajne razlike između prirasta promjera na bazi stabljike bukova pomlatka na pojedinim tretiranjima ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,103805$ ) (tablica 6.79.). Kao i kod ostalih analiziranih parametara ovih tretiranja (visine, visinski prirast, promjeri na bazi stabljike) potvrđena je razlika između pojedinih vegetacijskih razdoblja (godina) te između tretiranja po godinama ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Ovakva nam interakcija pokazuje da se i debljinski prirast na bazi stabljike u promatranim tretiranjima ne ponaša jednako tijekom godina.

**Tablica 6.79.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani”

|                    | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|--------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE         | 10,052        | 1                 | 10,052    | 2,6848  | 0,103805 |
| POGREŠKA           | 471,747       | 126               | 3,744     |         |          |
| VRIJEME            | 70,511        | 2                 | 35,256    | 17,4769 | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE | 47662,000     | 2                 | 23,831    | 11,8134 | 0,000012 |
| POGREŠKA           | 508,352       | 252               | 2,017     |         |          |

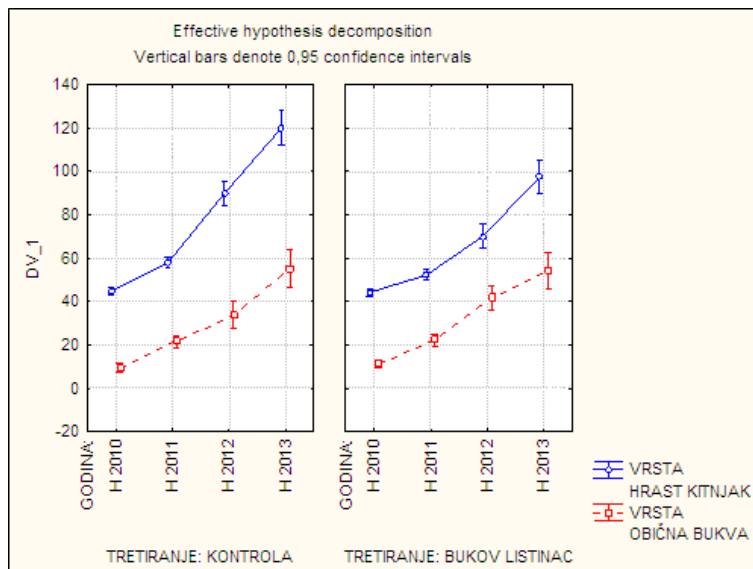
Tablica 6.80. prikazuje rezultate „post hoc” Tuckey testa. Uočava se statistički značajna razlika između debljinskoga prirasta u trećoj godini ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ), što se uočava i na slici 6.73. Prirast u prvoj i drugoj godini statistički se značajno ne razlikuju ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,0,88134$ ).

**Tablica 6.80.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Doljani” po godinama

|   | VRIJEME   | {1}<br>2,0673 | {2}<br>1,9823 | {3}<br>2,9508 |
|---|-----------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | ID0 2010. |               | 0,881340      | 0,000023      |
| 2 | ID0 2011. | 0,881340      |               | 0,000022      |
| 3 | ID0 2012. | 0,000022      | 0,000022      |               |

#### 6.8.2.11. Usporedba visina hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“

Usporedba visina pomlatka obične bukve i hrasta kitnjaka po metodama pripreme staništa (kontrolna metoda i primjena bukova listinca) u svim godinama izmjere prikazana je na slici 6.74. Razlike između vrsta postoje pri obama tretiranjima i u svim godinama. Veća se razlika može uočiti na kontrolnim pokusnim plohama na kojima su srednje vrijednosti visina za obje vrste veće od biljaka na plohama s bukovim listincem. Na kontrolnim plohama razlika je u prvim dvjema izmjerama ujednačena, a razlike se u brzini porasta srednjih vrijednosti povećavaju u posljednje dvije izmjere, tj. u drugom i trećem vegetacijskom razdoblju. Kod primjene bukova listinca postoji manja razlika između vrsta, a najveća je u posljednjoj izmjeri. U obama tretiranjima hrast kitnjak pokazuje brže povećanje vrijednosti u drugom i trećem vegetacijskom razdoblju.



H 2010 – visina (cm) izmjerena na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 H 2011 – visina (cm) izmjerena na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 H 2012 – visina (cm) izmjerena na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 H 2013 – visina (cm) izmjerena na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.74.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu visina pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve na pokusnim plohama primjene bukova listinca i na kontrolnim plohama na lokalitetu „Doljani” za razdoblje od 2010. do 2013.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoje statistički značajne razlike između pojedinih vrsta ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (tablica 6.81.). Stoga opisane razlike između pojedinih metoda koje su uočene na slici 6.74. nisu statistički značajne. Također, interakcija između tretiranja i između tretiranja i vrsta pokazuje statistički značajnu razliku. Analizom varijance ponovljenih mjerenja utvrđena je i razlika u visinama tijekom vremena, tijekom vremena između vrsta, tijekom vremena između tretiranja te tijekom vremena između tretiranja i vrsta ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Sve ovo upućuje na to da se visine hrasta kitnjaka i obične bukve ne ponašaju jednako tijekom triju vegetacijskih razdoblja u kojima je obavljena izmjera. Osim toga, ako se promatraju razlike između vrsta po tretiranjima, njihovo je ponašanje različito u promatranom periodu (2010. – 2013. godine).

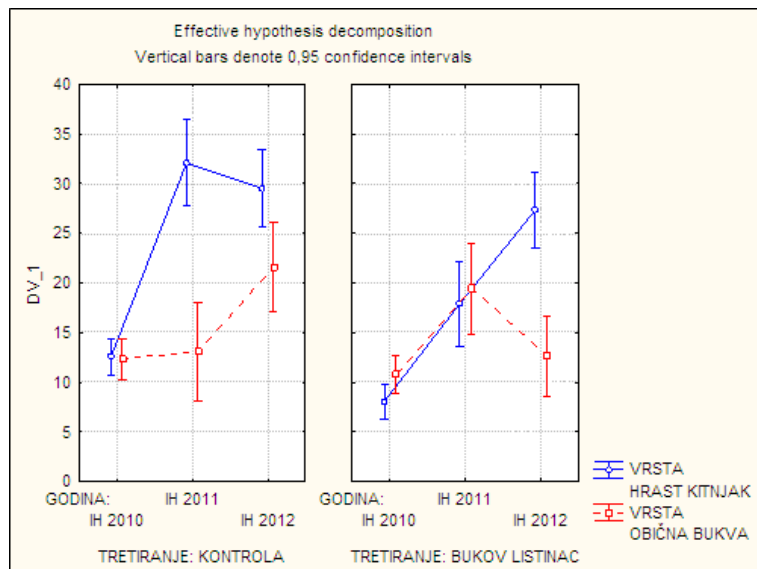


**Tablica 6.81.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visine na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

|                     | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| VRSTA               | 453401        | 1                 | 453401    | 388,135 | 0,000001 |
| TRETIRANJE          | 6598          | 1                 | 6598      | 5,648   | 0,018175 |
| VRSTA*TRETIRANJE    | 14013         | 1                 | 14013     | 11,996  | 0,000620 |
| POGREŠKA            | 314233        | 269               | 1168      |         |          |
| R1                  | 465383        | 3                 | 155128    | 613,105 | 0,000001 |
| R1*VRSTA            | 18874         | 3                 | 6291      | 24,865  | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE       | 5658          | 3                 | 1886      | 7,454   | 0,000063 |
| R1*VRSTA*TRETIRANJE | 7294          | 3                 | 2431      | 9,609   | 0,000003 |
| POGREŠKA            | 204187        | 807               | 253       |         |          |

#### 6.8.2.12. Usporedba visinskoga prirasta hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“

Na slici 6.75. prikazana je usporedba trenda visinskoga prirasta pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve u promatranom razdoblju također prema pojedinim metodama pripreme staništa. Razlika visinskoga prirasta vrsta na kontrolnim metodama najmanja je u prvoj godini istraživanja. U drugoj godini na ovome tretiranju pronalazimo najveće razlike između vrsta u korist hrasta kitnjaka, nakon čega se ta razlika smanjuje. Iako se prirast obične bukve naglo povećava u trećoj godini, smanjenje razlike između ovih vrsta posljedica je pada visinskoga prirasta hrasta kitnjaka. Visinski prirast pomlatka na pokusnim plohama s bukovim listincem nešto je veći u prvoj i u drugoj godini kod obične bukve. U trećoj godini na ovom se tretiranju smanjuje prirast obične bukve, zbog čega nastaje velika razlika između vrsta u korist hrasta kitnjaka.



IH 2010 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

IH 2011 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

IH 2012 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.75.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu visinskoga prirasta pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve po godinama i načinu poboljšanja tla na lokalitetu „Doljani” (2011. – 2013.).

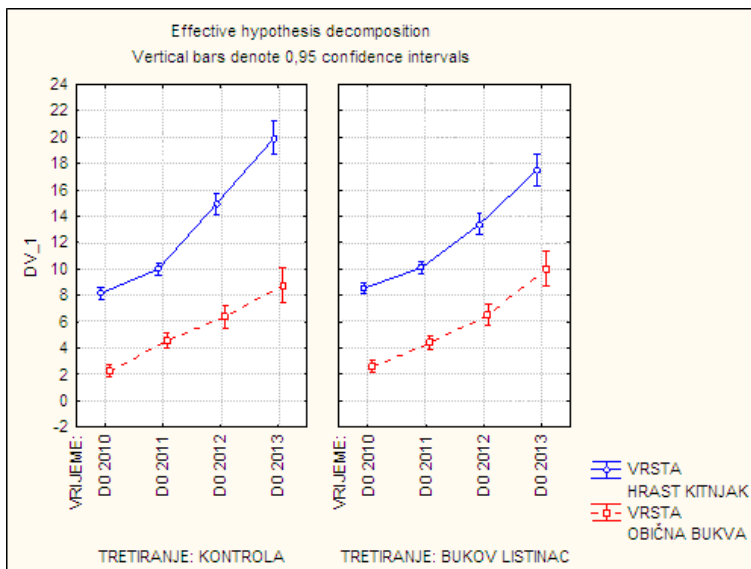
Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoje statistički značajne razlike između visinskoga prirasta pomlatka pojedinih vrsta ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (tablica 6.82.). Opisane razlike između pojedinih metoda, koje su uočene na slici 6.75., statistički su značajne. Interakcija između tretiranja te između tretiranja i vrsta pokazuje statistički značajnu razliku. Kao i kod visina, analizom varijance ponovljenih mjerenja utvrđena je i razlika u visinskim prirastima tijekom vremena (za obje vrste), tijekom vremena između vrsta te tijekom vremena između tretiranja i vrsta ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Interakcija između tretiranja tijekom vremena nije pokazala statistički značajnu razliku ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,526367$ ). Ovo upućuje na to da se visine hrasta kitnjaka i obične bukve ne ponašaju jednako tijekom triju vegetacijskih razdoblja u kojima je obavljena izmjera. Ipak, visinski prirasti po pojedinim tretiranjima imaju približno jednako ponašanje tijekom promatranih godina.

**Tablica 6.82.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

|                     | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| VRSTA               | 7734,2        |                   | 7734,2    | 22,1330 | 0,000004 |
| TRETIRANJE          | 3441,6        | 1                 | 3441,6    | 9,8490  | 0,001893 |
| VRSTA*TRETIRANJE    | 1522,2        | 1                 | 1522,2    | 4,3561  | 0,037841 |
| POGREŠKA            | 91902,7       | 263               | 349,4     |         |          |
| R1                  | 20837,8       | 2                 | 10418,9   | 59,8191 | 0,000001 |
| R1*VRSTA            | 5807,4        | 2                 | 2903,7    | 16,6714 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE       | 223,8         | 2                 | 111,9     | 0,6425  | 0,526367 |
| R1*VRSTA*TRETIRANJE | 6318,7        | 2                 | 3159,4    | 18,1392 | 0,000001 |
| POGREŠKA            | 91615,2       | 526               | 174,2     |         |          |

6.8.2.13. Usporedba promjera na bazi stabljike hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“

Usporedba trenda promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve u promatranom razdoblju, s obzirom na pojedine metode pripreme tla, prikazana je na slici 6.76. Na obama tretiranjima i tijekom svih godina uočava se višestruka razlika između vrijednosti promjera u korist pomlatka hrasta kitnjaka. Također se uočava da je porast promjera za običnu bukvu na obama tretiranjima pravilniji te bez naglih porasta. Kod hrasta kitnjaka uočava se sporiji rast promjera u prvoj godini te veća povećanja u drugoj i trećoj godini ako ga uspoređujemo s običnom bukvom. Vrijednosti za obje vrste po pojedinim tretiranjima približno su jednake.



D0 2010 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 D0 2011 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 D0 2012 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 D0 2013 – promjer izmjeren na bazi stabljike (mm) na početku 2013. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.76.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve po godinama i tretiranjima na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2013.).

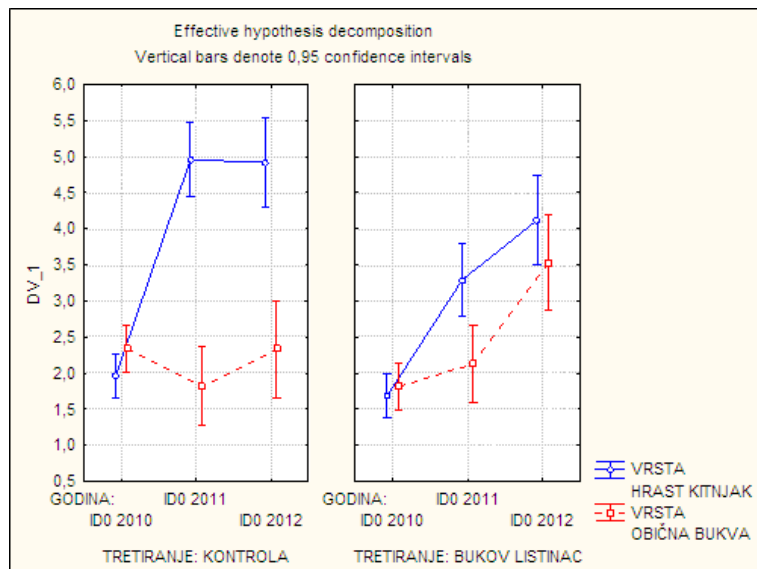
Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoje statistički značajne razlike između promjera na bazi stabljike pojedinih vrsta ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (Tablica 6.83.). Stoga, opisane su razlike između pojedinih metoda, koje su uočene na Slici 6.76., statistički značajne. Analiza interakcije između tretiranja te između tretiranja i vrsta pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika. Kao i kod visina, analizom varijance ponovljenih mjerenja utvrđena je razlika u visinskim prirastima tijekom vremena (za obje vrste), tijekom vremena između vrsta, između vremena i tretiranja te tijekom vremena između tretiranja i vrsta ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ , osim vrijeme x tretiranje, gdje je  $p = 0,018105$ ). Ovo pokazuje da se i promjeri na bazi stabljike, poput visina i visinskih prirasta ovih dviju vrsta ne ponašaju jednako tijekom triju vegetacijskih razdoblja u kojima je obavljena izmjera. Promjeri na bazi stabljike ne ponašaju se slično ni tijekom godina ni po tretiranjima.

**Tablica 6.83.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

|                          | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|--------------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| VRSTA                    | 13825,10      | 1                 | 13825,10  | 415,159 | 0,000001 |
| TRETIRANJE               | 16,66         | 1                 | 16,66     | 0,500   | 0,480049 |
| VRSTA*TRETIRANJE         | 107,88        | 1                 | 107,88    | 3,240   | 0,072994 |
| POGREŠKA                 | 8957,89       | 269               | 33,30     |         |          |
| VRIJEME                  | 11712,30      | 3                 | 3904,10   | 772,837 | 0,000001 |
| VRIJEME*VRSTA            | 614,88        | 3                 | 204,96    | 40,573  | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE       | 51,08         | 3                 | 17,03     | 3,371   | 0,018105 |
| VRIJEME*VRSTA*TRETIRANJE | 175,68        | 3                 | 58,56     | 11,592  | 0,000001 |
| POGREŠKA                 | 4076,68       | 807               | 5,05      |         |          |

*6.8.2.14. Usporedba prirasta promjera na bazi stabljike hrasta kitnjaka i obične bukve na lokalitetu „Doljani“*

Na slici 6.77. prikazana je usporedba trenda debljinskoga prirasta na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve u istraživanom razdoblju. Nakon neznatnih razlika između ovih dviju vrsta u debljinskome prirastu tijekom prvoga vegetacijskog razdoblja na obama tretiranjima, u drugoj godini nastaju znatne razlike. Razlike su dvostruko veće na kontrolnom tretiranju od tretiranja bukovim listincem. Na kontrolnim se plohama razlika smanjuje u trećemu vegetacijskom razdoblju zbog povećanja debljinskoga prirasta obične bukve te neznatnoga smanjenja prirasta hrasta kitnjaka. Pri tretiranju bukovim listincem mnogo je manja razlika između promatranih vrsta. Osim u prvome vegetacijskom razdoblju, u svim ostalim promatranim vegetacijskim razdobljima hrast kitnjak ima veće vrijednosti prirasta promjera od obične bukve.



ID0 2010 –prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine  
 ID0 2011 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine  
 ID0 2012 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka (mm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

**Slika 6.77.** 95 %-tni interval pouzdanosti za usporedbu prirasta promjera na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka i obične bukve po godinama i tretiranjima na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoji statistički značajna razlika kod prirasta promjera na bazi stabljike između pojedinih vrsta ( $p > 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) te između vrsta i tretiranja ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,000975$ ) (tablica 6.84.). Opisane razlike između pojedinih metoda, koje su uočene na slici 6.77., statistički su značajne. Analizom varijance ponovljenih mjerenja utvrđena je razlika u visinskim prirastima tijekom vremena (za obje vrste) ( $p > 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ), tijekom vremena između vrsta ( $p > 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ), između tretiranja i vremena te vremena ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,019194$ ), tretiranja i vrsta ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,00029$ ). Ovo upućuje na to da se prirast promjera na bazi stabljike, poput visina, visinskih prirasta i promjera na bazi stabljike ovih dviju vrsta, ne ponaša jednako tijekom triju vegetacijskih razdoblja u kojima je obavljena izmjera.

**Tablica 6.84.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za prirast promjera na bazi stabljike na lokalitetu „Doljani” po vrstama, tretiranjima i godinama

|                          | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|--------------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| VRSTA                    | 275,153       | 1                 | 275,153   | 39,1761 | 0,000001 |
| TRETIRANJE               | 17,700        | 1                 | 17,700    | 2,5200  | 0,113578 |
| VRSTA*TRETIRANJE         | 78,086        | 1                 | 78086,000 | 11,1177 | 0,000975 |
| POGREŠKA                 | 1896,346      | 270               | 7,240     |         |          |
| VRIJEME                  | 438,501       | 2                 | 219,251   | 63,6726 | 0,000001 |
| VRIJEME*VRSTA            | 214,835       | 2                 | 107,418   | 31,1952 | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE       | 27,425        | 2                 | 13,712    | 3,9822  | 0,019194 |
| VRIJEME*VRSTA*TRETIRANJE | 56,951        | 2                 | 28,476    | 8,2696  | 0,000290 |
| POGREŠKA                 | 1859,439      | 540               | 3,443     |         |          |

Tablica 6.85. prikazuje rezultate „post hoc” Tuckey testa. Uočava se statistički značajna razlika između debljinskih prirasta tijekom svih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0001$ ).

**Tablica 6.85.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka hrasta kitnjaka na lokalitetu „Doljani” po godinama

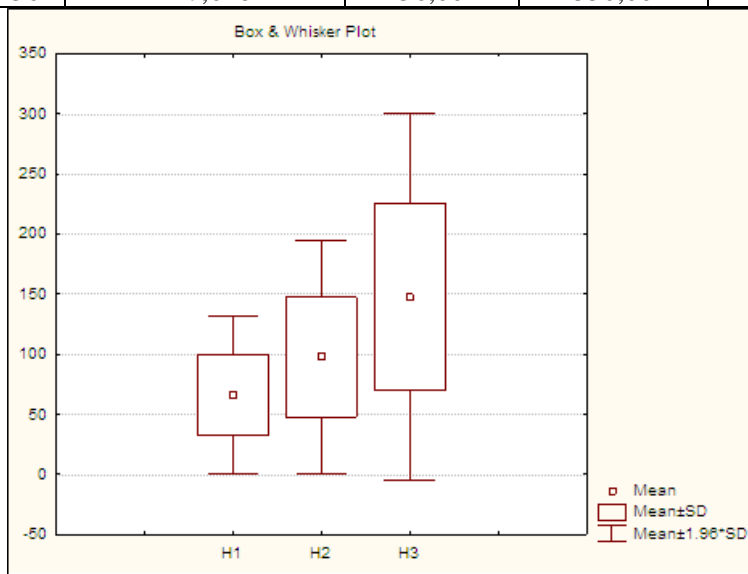
|   | VRIJEME   | {1}<br>1,9359 | {2}<br>3,1173 | {3}<br>3,7835 |
|---|-----------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | IDO 2010. |               | 0,000022      | 0,000022      |
| 2 | IDO 2011. | 0,000022      |               | 0,000097      |
| 3 | IDO 2012. | 0,000022      | 0,000097      |               |

#### 6.8.2.15. Visina i visinski prirast pomlatka i mladika gorskog javora na lokalitetu „Doljani”

Srednje visine (H) pomlatka gorskog javora dvije godine nakon presadnje na teren iznose 66,36 cm. Najmanja visina u ovoj godini iznosi 10 cm, a najviša 163 cm, dok je standardna devijacija 33,47 cm. Srednja visina mladika nakon tri vegetacijska razdoblja za 31,1 cm je viša od srednje visine nakon dvije godine, a iznosi 97,48 cm (tablica 6.86.). Najmanja visina u ovoj godini iznosi 20 cm, uz standardnu devijaciju od 49,65 cm. Najviša biljka tri godine nakon sadnje visoka je 350 cm, a najmanja 36 cm. Vrijednosti se standardne devijacije povećavaju sa starošću biljaka. Visine gorskog javora u drugoj, trećoj i četvrtoj godini nakon presadnje grafički su prikazane na slici 6.78. s 0,95 %-tnim intervalom pouzdanosti.

**Tablica 6.86.** Deskriptivna statistika za visine pomlatka i mladika gorskog javora u razdoblju od zime 2010. do zime 2012. na lokalitetu „Doljani”

|         | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|---------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| H 2010. | 56 | 66,359              | 10,00   | 163,00   | 33,46955       |
| H 2011. | 56 | 97,482              | 20,00   | 225,00   | 49,65188       |
| H 2012. | 56 | 147,618             | 36,00   | 350,00   | 77,86990       |



H 1 – visina biljaka (cm) izmjerena na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 2 – visina biljaka (cm) izmjerena na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

H 3 – visina biljaka (cm) izmjerena na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

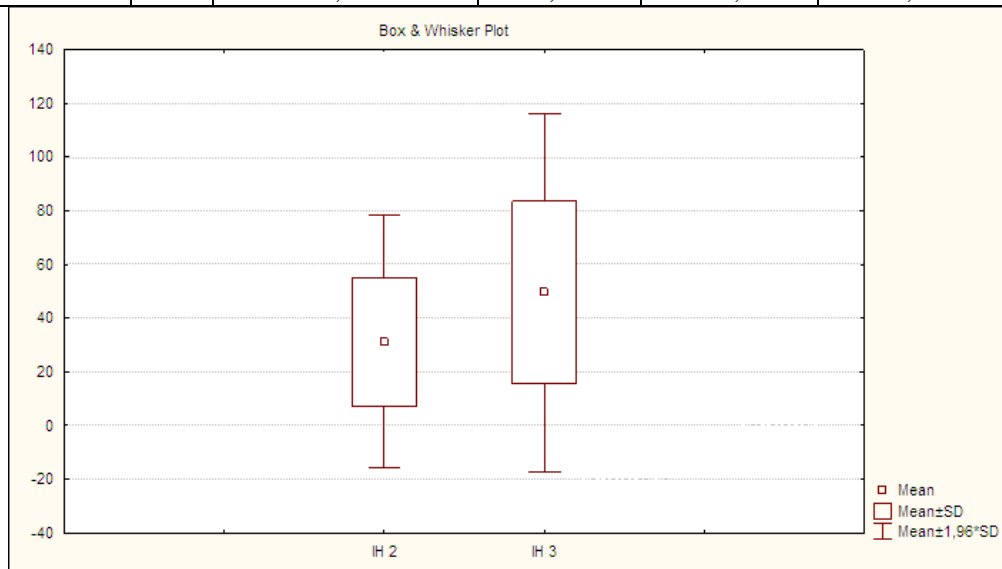
**Slika 6.78.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visine pomlatka i mladika gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.).

Na slici 6.79. prikazan je visinski prirast (IH) pomlatka i mladika gorskog javora na lokalitetu „Doljani” u razdoblju 2010. do 2012. godine. Srednja vrijednost visinskoga prirasta pomlatka gorskog javora u 2010. godini iznosi 31,1 cm. Najmanji visinski prirast u toj godini iznosi 1 cm, a najviši 132 cm, dok je standardna devijacija 23,99 cm. Srednja vrijednost visinskoga prirasta mladika u trećem vegetacijskom razdoblju nakon presadnje (2011. godine) za 18,41 cm viša je od srednje vrijednosti visinskoga prirasta u drugoj godini, a iznosi 49,53 cm (tablica 6.87.). Neke biljke na pokusnim plohamu nisu imale prirast u ovoj godini, a najveća vrijednost iznosi 125 cm. Standardna je devijacija veća u trećoj godini i iznosi 34 cm.



**Tablica 6.87.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka i mladika gorskog javora u razdoblju od 2010. do 2011. godine na lokalitetu „Doljani”

|          | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| IH 2010. | 56 | 31,123              | 1,00    | 132,00   | 23,98832       |
| IH 2011. | 58 | 49,527              | 0,00    | 125,00   | 34,00700       |



IH 2 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2010. godine

IH 3 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2011. godine

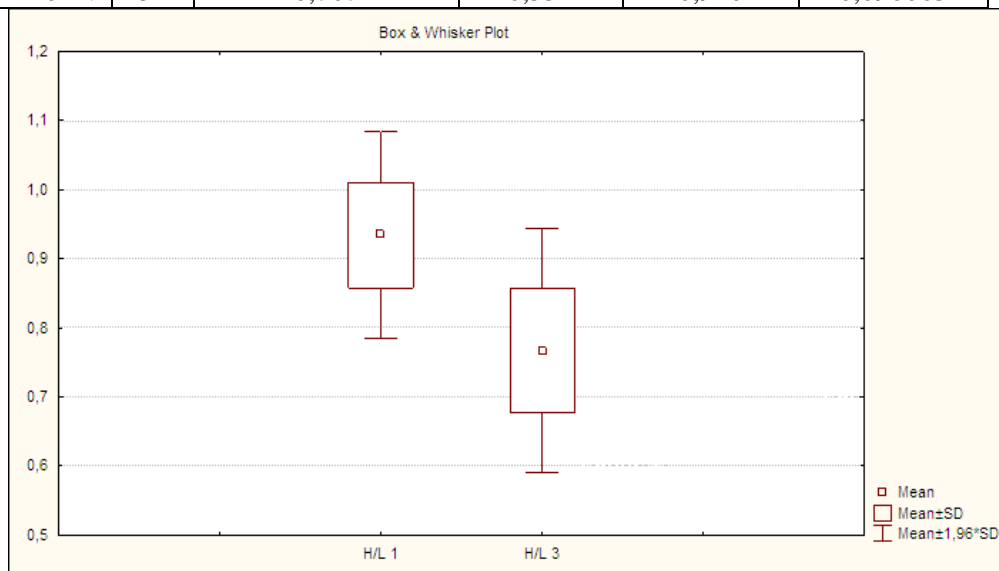
**Slika 6.79.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka i mladika gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2011.).

#### 6.8.2.16. Kvaliteta pomlatka i mladika gorskog javora na lokalitetu „Doljani”

Kvaliteta pomlatka i mladika na ovim pokusnim ploham izražena je kao kvocijent visine i duljine stabljike (mjerena do baze vršnog pupa). Analizirana je za biljke gorskog javora dvije (mjereno početkom 2010. godine) i četiri godine nakon presadnje biljaka na teren (početkom 2012. godine) (slika 6.80.). U izračun su uzeti parametri za ukupno 56 stabala nakon dvije te 54 stabla četiri godine nakon sadnje (dva su se stabla na pokusnim plohamu posušila). Aritmetička sredina kvocijenta visine i duljine iznosi 0,934 u izmjeri u zimi 2010. godine, pri čemu je najmanji kvocijent iznosio 0,613, a najveći 0,9975 (tablica 6.88.).

**Tablica 6.88.** Deskriptivna statistika za odnos visine i promjera gorskog javora u razdoblju od 2010. i 2012. godine na lokalitetu „Doljani”

|           | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|-----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| H/L 2010. | 56 | 0,934               | 0,613   | 0,998    | 0,076482       |
| H/L 2012. | 54 | 0,767               | 0,552   | 0,940    | 0,090063       |

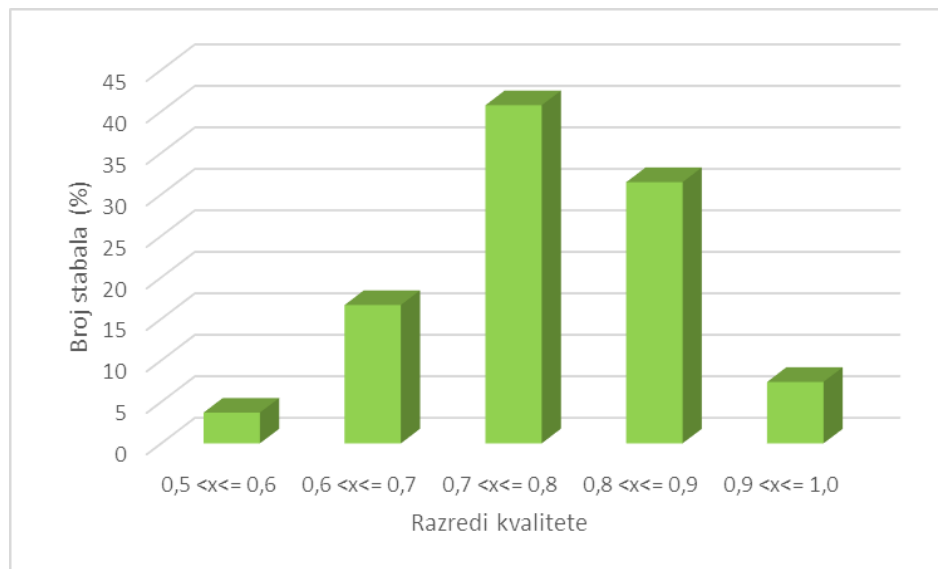


H/L 1 – omjer visine i duljine biljaka početkom 2010. godine

H/L 2 – omjer visine i duljine biljaka početkom 2012. godine

**Slika 6.80.** 95 %-tni interval pouzdanosti za odnos visine i promjera gorskog javora u razdoblju od dvije godine na lokalitetu „Doljani”

Kvocijent u najvišem razredu (od 0,9 do 1,0) ima 82,1 % stabala, a u nižem razredu (od 0,8 do 0,9) 12,5 %. Dvije godine poslije (četiri godine nakon presadnje, starost biljaka pet godina) vrijednosti se smanjuju te se kreću u rasponu od 0,552 do 0,94. Srednja vrijednost iznosi 0,767. Grafički prikaz stabala u pojedinom razredu kvalitete u četiri godine nakon presadnje na teren prikazan je na slici 6.81. U ovoj godini vrijednosti kvocijenta visine i duljine stabljike padaju gotovo za dva kvalitetna razreda jer se najveći dio podataka nalazi u razredu od 0,7 do 0,8 (40,7 %) te u razredu od 0,8 do 0,9 (31,5 %). 20,4 % stabala ima vrijednost u nižim razredima kvalitete od 0,7, a tek 7,41 % u najvišem razredu kvalitete (0,9 – 1,0).



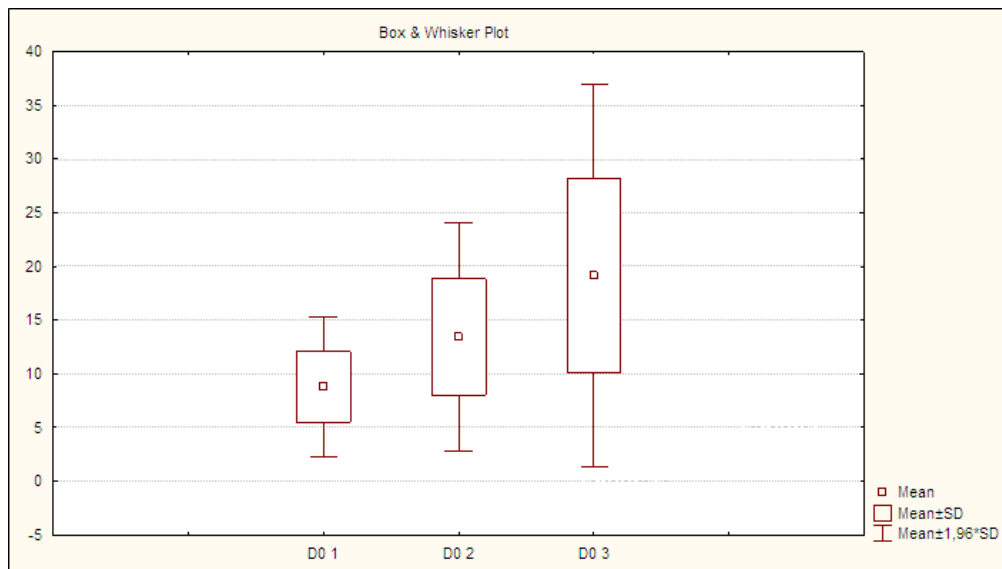
**Slika 6.81.** Kvocijent visine i duljine stabljike mladika gorskog javora po kvalitetnim razredima. Najveći broj stabala nalazi se u razredu od 0,7 do 0,8 (40,7 %). U vrijednosnom razredu (0,8 – 0,9) nalazi se 31,5 %, dok se u najvišem razredu nalazi tek 7,41 %.

#### 6.8.2.17. Promjer na bazi stabljike i debljinski prirast gorskog javora na lokalitetu „Doljani“

Promjer na bazi stabljike (D0) pomlatka i mladika gorskog javora mjeren je svake godine u razdoblju od 2010. do 2012. godine, dakle u dvije, tri i četiri godine nakon presadnje na teren. Aritmetička sredina promjera na bazi stabljike pomlatka gorskog javora dvije godine nakon presadnje (ukupna starost biljaka 3 godine) iznosi 0,9 cm, s rasponom vrijednosti od 0,36 do 1,9 cm. Najmanji promjer tri godine nakon presadnje iznosi 0,6 cm, a najveći 3,0 cm. Standardna devijacija u toj godini iznosi 0,54 cm. Srednje vrijednosti četiri godine nakon sadnje iznose 1,91 cm, a vrijednosti se kreću od 0,8 do 4,6 cm (tablica 6.89.). Navedeni podatci grafički su prikazani na slici 6.82.

**Tablica 6.89.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike gorskog javora u razdoblju od 2010. do 2012. godine na lokalitetu „Doljani“

|          | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| D0 2010. | 56 | 8,802               | 3,60    | 19,00    | 3,295313       |
| D0 2011. | 56 | 13,446              | 6,00    | 30,00    | 5,406796       |
| D0 2012. | 55 | 19,145              | 8,00    | 46,00    | 9,050104       |



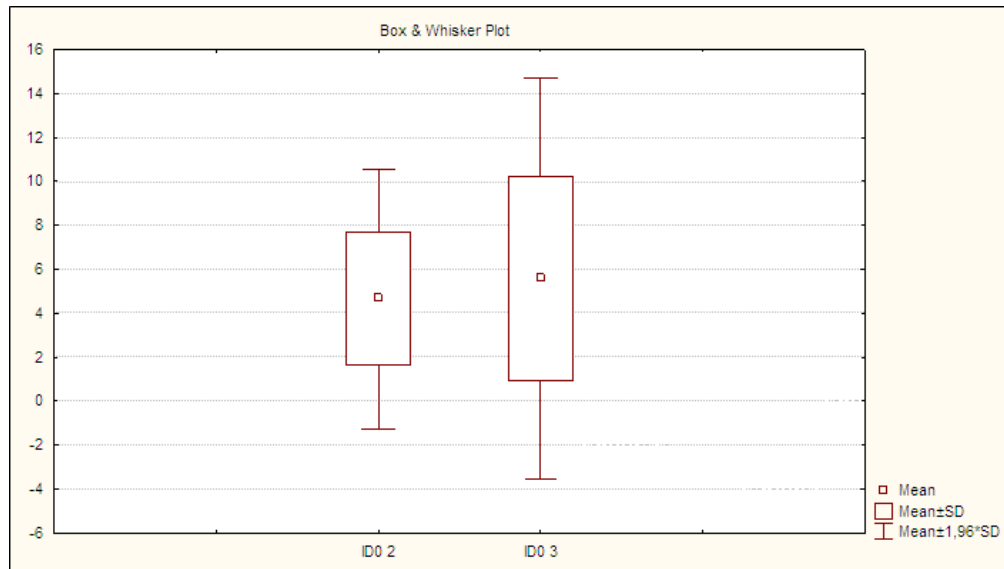
D0 1 – promjer na bazi stabljike (mm) izmjeren na početku 2010. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 D0 2 – promjer na bazi stabljike (mm) izmjeren na početku 2011. godine (prije vegetacijskog razdoblja)  
 D0 3 – promjer na bazi stabljike (mm) izmjeren na početku 2012. godine (prije vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.82.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2012.)

Srednje vrijednosti debljinskoga prirasta na bazi stabljike pomlatka i mladika gorskog javora kreću se od 4,6 (u trećoj godini) do 5,6 mm (u četvrtoj godini), što je vidljivo u tablici 6.90. Najmanji debljinski prirast u trećoj godini nakon sadnje iznosi 0,7 mm, a najveći 14 mm. Najmanji debljinski prirast na bazi stabljike u četvrtoj je godini 0 mm, a najveći je 21 mm. Vrijednosti standardne devijacije kreću se od 3 mm (u trećoj godini) do 4,6 mm (u četvrtoj godini). Na Slici 6.83. grafički su prikazani navedeni podaci. Najveći broj biljaka (80,36 %) ima godišnji prirast do 5 mm u trećoj godini nakon presadnje. Prirast 6 – 7 mm ima 8 % stabala, a samo 10,7 % stabala godišnji prirast veći od 7 mm. U četvrtoj godini 83,63 % stabala ima godišnji debljinski prirast do 10 mm, 10,91 % do 15 mm, a 5,45 % od 15 do 20 mm.

**Tablica 6.90.** Deskriptivna statistika za debljinski prirast na bazi stabljike pomlatka i mladika gorskog javora u razdoblju od 2010. do 2011. na lokalitetu „Doljani”

|           | N  | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|-----------|----|---------------------|---------|----------|----------------|
| ID0 2010. | 56 | 4,645               | 0,70    | 14,00    | 3,020471       |
| ID0 2011. | 55 | 5,582               | 0,00    | 21,00    | 4,641563       |



ID0 2 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka u 2010. godini

ID0 3 – prirast promjera na bazi stabljike biljaka u 2011. godini

**Slika 6.83.** 95 %-tni interval pouzdanosti za prirast promjera na bazi stabljike gorskog javora po godinama na lokalitetu „Doljani” (2010. – 2011.).

## 6.9. Supstitucija kulture obične smreke u vegetacijskom pojasu klimatogenih šumskih zajednica bukve i jele (lokalitet „Bistranska gora“)

6.9.1. Supstitucija pod zastorom krošanja stabala obične smreke sjetvom sjemena u vegetacijskom pojasu klimatogenih šumskih zajednica bukve i jele

### 6.9.1.1. Broj ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“)

Cjelokupna analiza broja biljaka obične bukve iz sjemena na spomenutom lokalitetu obavljena je za vrijednosti ponovljene sjetve jer prva sjetva nije postigla zadovoljavajuće rezultate. Nakon prve sjetve na pokusnim plohamu nije zabilježen ponik te nije utvrđeno klijanje sjemena. Analiza pojave ponika te broja biljaka u prve tri godine nakon sjetve na pokusnim plohamu pod zastorom krošanja obične smreke napravljena je na ukupno 675 poduzoraka. To je 225 poduzoraka po ponavljanju. Svakom je poduzorku pridužen broj godine u kojoj je došlo do potpunog nicanja biljaka, što je bilježeno na terenu svake godine. Masovna pojava biljaka iz sjemena utvrđena je nakon prve vegetacijske sezone, iako je jedan dio biljaka iznikao u drugoj pa čak i u trećoj godini. Pojava biljaka po poduzorcima nakon prve godine prikazana je na slici 6.84. Ukupno je u 65,3 % poduzoraka potpuno nicanje zabilježeno u prvoj godini. To znači da u ostalim godinama nije došlo do pojave novih biljaka. U 23,41 % poduzoraka u drugoj godini nakon sjetve zabilježena je pojava biljaka, dok je čak u 3,7 % poduzoraka zabilježena pojava biljaka u trećoj godini. U ukupno 7,55 % poduzoraka uopće nije bilo nicanja biljaka u tri godine praćenja pokusa.



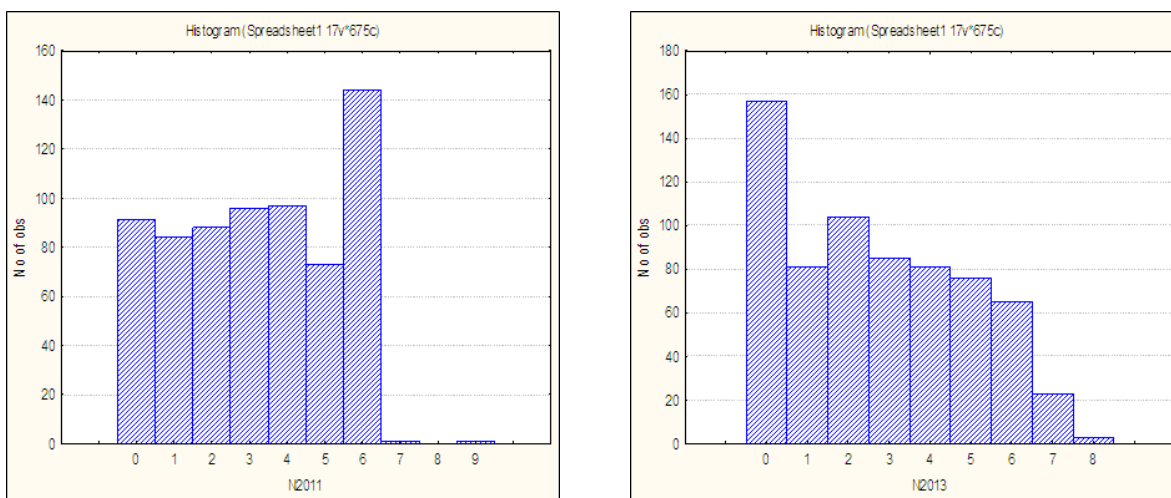
**Slika 6.84.** Poduzorci ponika obične bukve pod zastorom smrekove kulture nakon ponovljene sjetve u jesen 2011. godine (lokalitet „Bistranska gora“) na pokusnim plohamu pod zastorom krošanja obične smreke

Broj biljaka na pojedinom poduzorku kretao se od 0 (nema nicanja) do 9 u prvoj godini nakon sjetve te od 0 do 8 biljaka u drugoj i trećoj godini (tablica 6.91.). Srednje vrijednosti broja biljaka po poduzorku nešto su veće u prvoj godini te padaju (3,2 – 2,7). Standardne se devijacije kreću oko 2 biljke po poduzorku za sve istraživane godine.

**Tablica 6.91.** Deskriptivna statistika broja biljaka na poduzorcima pokusnih ploha sjetve obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora“, na pokusnim ploham postavljenima pod zastorom krošanja obične smreke

|         | N   | Aritmetička sredina | Minimum | Maksimum | St. devijacija |
|---------|-----|---------------------|---------|----------|----------------|
| N 2011. | 675 | 3,23                | 0,00    | 9,00     | 2,089946       |
| N 2012. | 675 | 2,81                | 0,00    | 8,00     | 2,149366       |
| N 2013. | 675 | 2,70                | 0,00    | 8,00     | 2,176742       |

Broj biljaka na poduzorcima prikazan je na slici 6.85. U trećoj je godini uočeno povećanje broja poduzoraka sa 7 i 8 biljaka (dodatno nicanje), ali i povećanje broja poduzoraka u kojima nema preživjelih biljaka.



**Slika 6.85.** Smanjenje broja biljaka na poduzorcima u prvoj i trećoj godini nakon sjetve, u jesen 2011. i 2013. godine (lokalitet „Bistranska gora“), na pokusnim ploham pod zastorom krošanja obične smreke

Na pokusnim ploham jednostavne supstitucije ukupno je posijano 75 poduzoraka obične bukve. Od toga broja utvrđeno je slabo preživljenje nakon prvoga vegetacijskog razdoblja te su

evidentirane dimenzije biljaka u samo 45 poduzoraka (60 %). Preživljenje biljaka nakon početne slabe pojave pada do vrijednosti od 39 biljaka (52 %) u trećoj godini nakon sjetve.

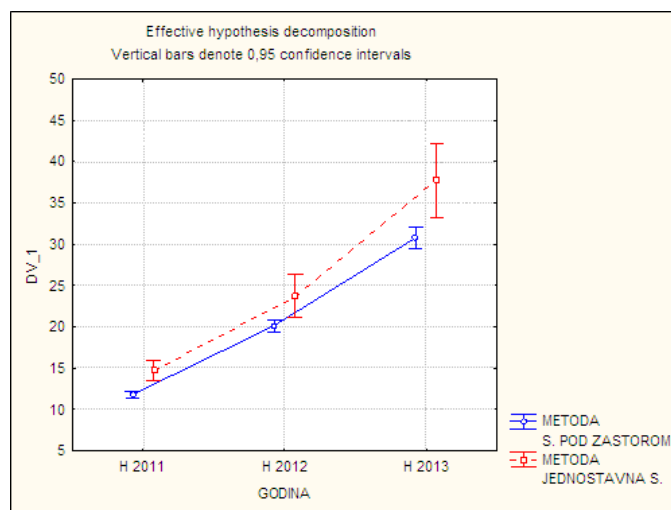
#### 6.9.1.2. Visina ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“)

Na slici 6.86. prikazana je usporedba trenda visina pomlatka obične bukve prema pojedinim metodama supstitucije (pod zastorom i jednostavna supstitucija). Usporedba nije napravljena za metodu supstitucije na progalama jer je u njima obavljena samo sadnja biljaka. U svim godinama istraživanja veće srednje vrijednosti visina biljaka utvrđene su u metodi jednostavne supstitucije. Približno jednake razlike pronalazimo u prvoj i drugoj godini nakon sjetve, iako na manjem broju biljaka na plohama jednostavne supstitucije. U trećoj se godini razlika između metoda povećava (s 3,62 cm na 6,97 cm). Srednje vrijednosti visina za obje metode prikazane su u tablici 6.92. U svim promatranim godinama veća se standardna devijacija uočava kod visina biljaka na pokusnim plohama pod zastorom te ona raste s godinama (4,03 cm nakon prve godine, 8,52 cm nakon druge godine te 14,64 cm nakon treće godine). Biljke na pokusnim plohama pod zastorom krošanja rastu sporije od biljaka na plohama jednostavne supstitucije, osobito u trećoj godini nakon sjetve.

**Tablica 6.92.** Deskriptivna statistika za visinu pomlatka iz sjemena obične bukve u razdoblju od 2011. do 2013. godine

|                   | N   | H 2011. -<br>Aritmetička<br>sredina | H2011. -<br>Std.Dev. | H 2012. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2012. -<br>Std.Dev. | H 2013. -<br>Aritmetička<br>sredina | H 2013. -<br>Std.Dev. |
|-------------------|-----|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Ukupno            | 541 | 12,01275                            | 4,085385             | 20,40296                            | 8,361273              | 31,27876                            | 14,34628              |
| S. "pod zastorom" | 502 | 11,80259                            | 4,033766             | 20,14243                            | 8,518802              | 30,77612                            | 14,64219              |
| "Jednostavna s."  | 39  | 14,71795                            | 3,815886             | 23,75641                            | 4,924845              | 37,74872                            | 7,1997                |





H 2011 – visina (cm) na kraju 2011. godine (nakon vegetacijskog razdoblja)

H 2012 – visina (cm) na kraju 2012. godine (nakon vegetacijskog razdoblja)

H 2013 – visina (cm) na kraju 2013. godine (nakon vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.86.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinu pomlatka iz sjemena obične bukve u razdoblju od tri godine na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama supstitucije (pod zastorom, jednostavna supstitucija).

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoji statistički značajna razlika u visinama biljaka iz sjemena između pojedinih metoda supstitucije, dakle između metode pod zastorom krošanja i jednostavne supstitucije ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,001268$ ) (tablica 6.93.). Razlike između pojedinih metoda, koje se mogu uočiti na slici 6.86., statistički su značajne. Statistički značajna razlika postoji i u visinama između pojedinih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) te između metoda tijekom tri godine mjerenja ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,013484$ ). Interakcija između tetiranja i godina upućuje na to da se visine biljaka uzgajane ovim metodama ne ponašaju jednako u promatranom razdoblju.

**Tablica 6.93.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka iz sjemena obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

|                | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|----------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| METODA         | 2199,1        | 1                 | 2199,1    | 10,498  | 0,001269 |
| POGREŠKA       | 112912,5      | 539               | 209,5     |         |          |
| VRIJEME        | 32241,6       | 2                 | 16120,8   | 409,353 | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA | 340,5         | 2                 | 170,3     | 4,323   | 0,013484 |
| POGREŠKA       | 42453,0       | 1078              | 39,4      |         |          |

„Post hoc” Tuckey testom dokazano je da postoji statistički značajna razlika između svih godina (vegetacijskih razdoblja) u kojima je evidentirana visina biljaka iz sjemena (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) (tablica 6.94.).

**Tablica 6.94.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za visine ponika i pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

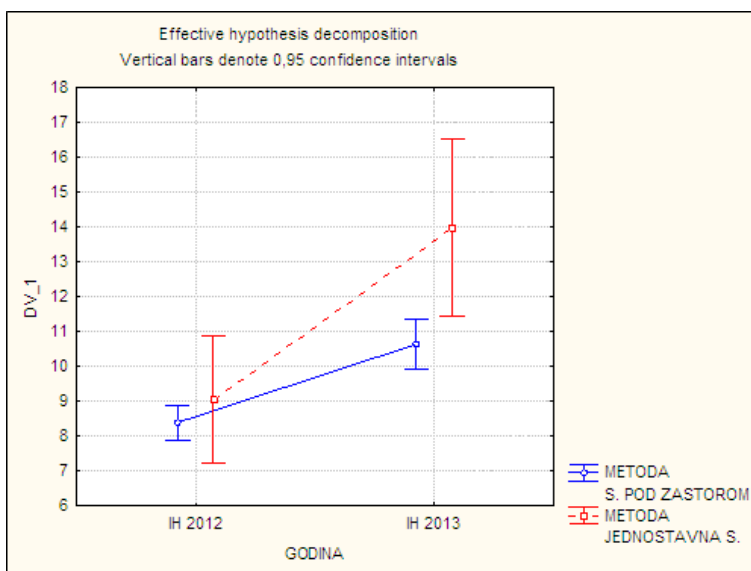
|   | VRIJEME | {1}<br>12,013 | {2}<br>20,403 | {3}<br>31,279 |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | H 2011. |               | 0,000022      | 0,000022      |
| 2 | H 2012. | 0,000022      |               | 0,000022      |
| 3 | H 2013. | 0,000022      | 0,000022      |               |

### 6.9.1.3. Visinski prirast pomlatka iz sjemena obične bukve (lokalitet „Bistranska gora“)

Na slici 6.87. prikazan je trend visinskoga prirasta (IH) obične bukve u istraživanom razdoblju prema pojedinim supstitucijskim metodama. Možemo reći da je visinski prirast u prvoj godini zapravo visina u prvoj godini, a ona je već prikazana u prethodnome poglavlju. U drugoj godini visinski je prirast veći kod jednostavne supstitucije te iznosi 9,04 cm, pri čemu je za 0,65 cm veći od prirasta kod biljaka pod zastorom. U drugoj se godini razlika prirasta između metoda povećava (za 3,36 cm), a uočava se i brže povećanje vrijednosti prirasta kod biljaka na plohama jednostavne supstitucije. Srednje vrijednosti visinskog prirasta za obje metode prikazane su u tablici 6.95. Biljke na pokusnim plohama pod zastorom imaju, kao i kod visina, veće standardne devijacije (od 5,92 do 8,29 cm), što upućuje na veće rasipavanje podataka. Standardne devijacije visinskoga prirasta biljaka na plohama jednostavne supstitucije neznatno se povećavaju u trećoj godini te se razlika standardnih devijacija povećava između ovih dviju metoda.

**Tablica 6.95.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od tri godine (2011. do 2012.)

|                  | N   | IH 2011. -<br>Aritmetička sredina | IH 2011. -<br>Std.Dev. | IH 2012. -<br>Aritmetička sredina | IH 2012. -<br>Std.Dev. |
|------------------|-----|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Ukupno           | 542 | 8,435424                          | 5,774272               | 10,87732                          | 8,12878                |
| S. pod zastorom  | 503 | 8,388668                          | 5,921879               | 10,63581                          | 8,293147               |
| „Jednostavna s.” | 39  | 9,038462                          | 3,318181               | 13,99231                          | 4,628936               |



IH 2012 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2012. godine

IH 2013 – visinski prirast biljaka (cm) u vegetacijskom razdoblju 2013. godine

**Slika 6.87.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinski prirast pomlatka obične bukve iz sjemena po godinama na lokalitetu „Bistranska gora” (2012. – 2013.).

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoji statistički značajna razlika između pojedinih metoda supstitucije ( $p < 0,05$ ,  $p = 0,041668$ ) (tablica 6.96). Sve opisane razlike između pojedinih metoda, koje se mogu uočiti na slici 6.87., statistički su značajne. Kao i u slučaju visina statistički značajna razlika postoji u visinskim prirastima između pojedinih godina ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ) te između metoda tijekom godina. Statistički značajna razlika u interakciji između metoda i godina pokazuje nam kako se visinski prirasti ponašaju različito tijekom

godina, tj. biljake na pokusnim plohama jednostavne supstitucije rastu brže od biljaka pod zastorom.

**Tablica 6.96.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

|                | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|----------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| METODA         | 290,46        | 1                 | 290,46    | 4,1685  | 0,041668 |
| POGREŠKA       | 37627,39      | 540               | 69,68     |         |          |
| VRIJEME        | 938,40        | 1                 | 938,40    | 32,2035 | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA | 132,58        | 1                 | 132,58    | 4,5499  | 0,033371 |
| POGREŠKA       | 15735,39      | 540               | 29,14     |         |          |

#### 6.9.1.4. Promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora”)

Analiza promjera na bazi stabljike za biljke iz sjemena obavljena je za promjer u trećoj godini nakon sjetve. Deskriptivna statistika za promjere na bazi stabljike biljaka obične bukve za obje metode supstitucije prikazana je u tablici 6.97. Uočavaju se dvostruko veće vrijednosti promjera na bazi stabljike kod biljaka bez zastora (8,8 mm u usporedbi s 3,7 mm).

**Tablica 6.97.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u rujnu 2013. godine prema različitim šumskouzgojnim metodama supstitucije (pod zastorom, jednostavna supstitucija)

|                              | N   | D0 2013.<br>Aritmetička<br>sredina | D0 2013.<br>St. devijacija | D0 2013.<br>Pogreška | D0 2013.<br>- 95,00 % | D0 2013. +<br>95,00 % |
|------------------------------|-----|------------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ukupno                       | 583 | 4,046930                           | 2,102265                   | 0,087067             | 3,875926              | 4,217933              |
| Supstitucija pod<br>zastorom | 544 | 3,706250                           | 1,553801                   | 0,066619             | 3,575388              | 3,837112              |
| Jednostavna<br>supstitucija  | 39  | 8,798974                           | 2,889922                   | 0,462758             | 7,862170              | 9,735779              |

Jednostruka analiza varijance pokazala je da postoji statistički značajna razlika između pojedinih metoda na ovome lokalitetu ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,001$ ) (tablica 6.98.). Stoga se može

zaključiti da biljke na pokusnim plohama jednostavne supstitucije kulture obične smreke imaju mnogo veće promjere na bazi stabljike.

**Tablica 6.98.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora”

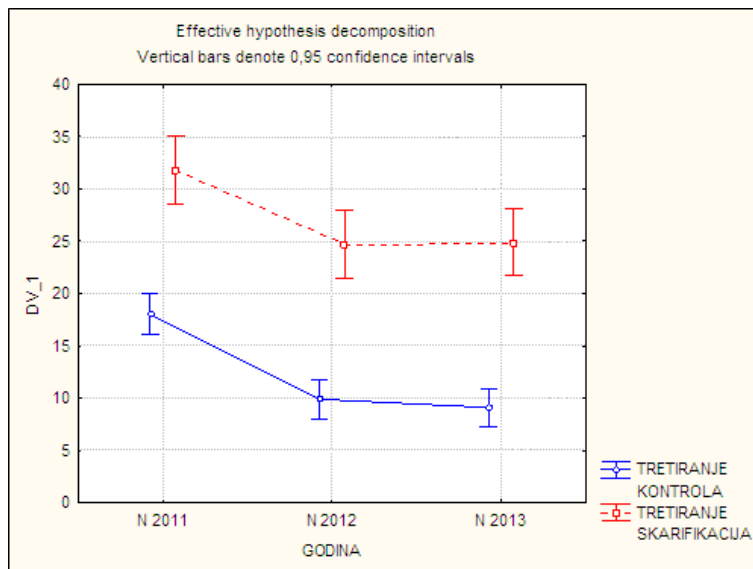
|          | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|----------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| METODA   | 943,833       | 1                 | 943,833   | 336,768 | 0,000001 |
| POGREŠKA | 1628,326      | 581               | 2,803     |         |          |

#### 6.9.1.5. Broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena (lokalitet „Bistranska gora“)

Na tom je lokalitetu analiziran uspjeh biljaka obične jele iz sjemena u jednoj supstitucijskoj metodi (pod zastorom krošanja) na skarificiranim pokusnim plohama na kojima je potpuno uklonjena nerazgrađena organska tvar (prepoznatljivi biljni ostatci, iglice) te na kontrolnim pokusnim plohama. Broj biljaka obične jele iz sjemena analiziran je na 180 poduzoraka na kontrolnom tretiranju te 60 pouzoraka na tretiranju „skarifikacija”. Srednje vrijednosti broja biljaka (ponika) u jesen 2011. godine (jednu godinu nakon sjetve) na kontrolnim plohama ( $s = 31,8$  kom.) manji je za prosječno 13,8 biljaka od skarificiranih pokusnih ploha ( $s = 18$  kom.). U drugoj se godini razlika između tretiranja povećava (14,8) te ostaje gotovo jednaka u trećoj godini nakon sjetve (15,8 kom.). Standardne devijacije broja biljaka po tretiranjima prikazane su u tablici 6.99. Trend broja biljaka na poduzorcima za oba tretiranja u znatnom je opadanju već u drugoj godini nakon pojave, ali ostaje gotovo jednak u trećoj godini, pri čemu je uočen tek neznatni porast (slika 6.88.).

**Tablica 6.99.** Deskriptivna statistika za broj ponika i pomlatka obične jele na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od tri godine (2011. do 2013.)

|               | N   | N 2011 -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2011 -<br>St.<br>devijacija | N 2012 -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2012 -<br>St.<br>Devijacija | N 2013 -<br>Aritmetička<br>sredina | N 2013 - St.<br>Devijacija |
|---------------|-----|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| UKUPNO        | 240 | 21,46667                           | 14,27754                      | 13,60417                           | 14,27163                      | 13,04583                           | 14,26798                   |
| KONTROLA      | 180 | 18,02778                           | 12,68458                      | 9,90556                            | 11,55492                      | 9,10556                            | 11,27141                   |
| SKARIFIKACIJA | 60  | 31,78333                           | 13,90292                      | 24,7                               | 15,90789                      | 24,86667                           | 15,80331                   |



N 2011 – broj biljaka utvrđen potkraj 2011. godine (nakon vegetacijskog razdoblja)  
 N 2012 – broj biljaka utvrđen potkraj 2012. godine (nakon vegetacijskog razdoblja)  
 N 2013 – broj biljaka utvrđen potkraj 2013. godine (nakon vegetacijskog razdoblja)

**Slika 6.88.** 95 %-tni interval pouzdanosti za broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena na lokalitetu „Bistranska gora” (2011. – 2013.)

Kao i u slučaju sjetve obične bukve i kod obične jele utvrđeno je vrijeme potpuna nicanja biljaka na poduzorku. Na slici 6.88. vidljivo je da se najveći broj biljaka pojavljuje u prvoj godini pri obama tretiranjima. Na kontrolnoj plohi u prvoj se godini pojavljuje 83,98 % biljaka, a na skarificiranim plohama 66,67 %. Na kontrolnim plohama 0,5 % poduzoraka nije imalo biljaka u cjelokupnom razdoblju praćenja, dok su na skarificiranim plohama biljke utvrđene na svim poduzorcima. U drugoj godini na kontrolnim plohama 11,11 % te 23,33 % poduzoraka ima potpunu pojavu biljaka iz sjemena, dok je u trećoj godini kod 4,44 % poduzoraka na kontrolnim plohama te 10 % na skarificiranim plohama utvrđeno pojavljivanje biljaka. Ovakav je izračun napravljen na temelju povećanja broja biljaka u pojedinim poduzorcima za svaku godinu te on može biti i veći u drugoj i trećoj godini jer u izračun nisu uključene posušene biljke na svakom poduzorku.

Na kontrolnim pokusnim plohama nakon prve godine najveći broj biljaka iznosi 59 komada na poduzorku (slika 6.89.) te se u idućim godinama smanjuje. Zbog dodatne pojave biljaka teško je doći do podataka o sušenju biljaka. Na skarificiranim pokusnim plohama broj je

biljaka u prvoj godini jednak kontrolnim ploham, ali je mnogo veći u drugoj i trećoj godini i iznosi 75 i 74 biljke.



**Slika 6.89.** Jela i bukva iz sjemena dvije godine nakon sjetve (poduzorci u lipnju 2013. godine)

Analiza varijance ponovljenih mjerenja za broj biljaka pokazala je da postoji statistički značajna razlika između pojedinih tretiranja ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,001$ ) (tablica 6.100.). Također, postoji statistički značajna razlika između pojedinih godina praćenja ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,001$ ). Međutim, analizom nije potvrđena statistički značajna razlika između tretiranja, što znači da se broj biljaka na tretiranjima ponaša približno jednako tijekom godina, a to je i vidljivo iz slike 6.88.

**Tablica 6.100.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena na lokalitetu „Bistranska gora”

|               | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| TRETIRANJE    | 29452,1       | 1                 | 29452,1   | 81,2945 | 0,000001 |
| POGREŠKA      | 86224,8       | 238               | 362,3     |         |          |
| R1            | 7237,2        | 2                 | 3618,6    | 56,8727 | 0,000001 |
| R1*TRETIRANJE | 90,5          | 2                 | 45,3      | 0,7115  | 0,491431 |
| POGREŠKA      | 30286,2       | 476               | 63,6      |         |          |

Iz tablice 6.101. vidi se da postoji statistički značajna razlika između broja biljaka u prvoj godini koja se razlikuje od druge i treće godine ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.101.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za broj ponika i pomlatka obične jele iz sjemena na lokalitetu „Doljani“

|   | R1      | {1}<br>21,467 | {2}<br>13,604 | {3}<br>13,046 |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | N 2011. |               | 0,000022      | 0,000022      |
| 2 | N 2012. | 0,000022      |               | 0,723438      |
| 3 | N 2013. | 0,000022      | 0,723438      |               |

### 6.9.2. Supstitucija kulture obične smreke sadnjom sadnica (supstitucija pod zastorom, na progalama i jednostavna supstitucija)

#### 6.9.2.1. Preživljenje posađenih sadnica obične bukve (sve metode) na lokalitetu „Bistranska gora“

Preživljenje sadnica obične bukve na pokusnim plohama pod zastorom nakon tri godine evidentiranja uspjeha sadnica obloženoga korijena starosti 1 + 0 iznosi 86 %. Sadnice gologa korijena starosti 2 + 0 imaju vrijednost preživljenja 55 %. Na pokusnim plohama jednostavne supstitucije sadnice obloženoga korijena starosti 1 + 0 imaju preživljenje od 86,7 %, a sadnice gologa korijena starosti 2 + 0 od 58,7 %.

Na pokusnim plohama postavljenim u progalama kulture prosječno preživljenje sadnica obloženoga korijena starosti 1 + 0 iznosi 96 %, a gologa korijena starosti 2 + 0 97 %. Nakon toga nije se moglo evidentirati preživljenje zbog nestanka sklopa te šteta od bujica i erozije tla.

#### 6.9.2.2. Visina pomlatka obične bukve (sve metode) na lokalitetu „Bistranska gora“

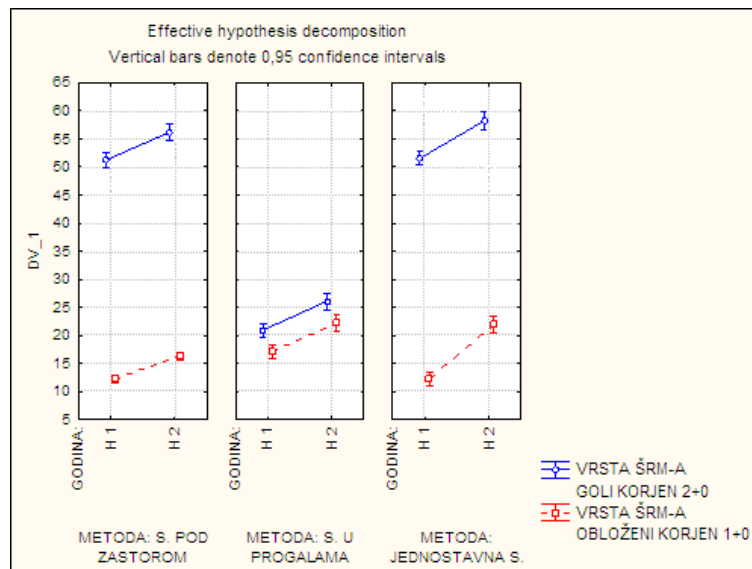
Na slici 6.90. može se vidjeti usporedba trenda visina pomlatka obične bukve prema pojedinim metodama supstitucije (pod zastorom i jednostavna supstitucija), tipu i starosti šumskoga reprodukcijuskog materijala. U metodama pod zastorom i jednostavnoj supstituciji sadnice gologa korijena starosti 2 + 0 veće su od jednogodišnjih sadnica obloženoga korijena, što je i logično. Ipak, dvogodišnje sadnice gologa korijena koje su sadene u progale imaju niže vrijednosti visina. Izvor ovoga odstupanja leži u drukčijem proizvođaču sadnoga materijala (različiti rasadnici poduzeća „Hrvatske šume“ d. o. o., Zagreb). Uspjeh jednogodišnjih sadnica obloženoga korijena najmanji je u metodi pod zastorom stabala obične smreke. Nešto veće vrijednosti mogu se uočiti u sadnji u progale, a najveći porast visina u drugoj godini istraživanja



vidi se na pokusnim plohama jednostavne supstitucije. U tablici 6.102. mogu se vidjeti srednje vrijednosti visina ukupno po metodama, pri čemu se jasno mogu uočiti najveće vrijednosti na pokusnim plohama jednostavne supstitucije.

**Tablica 6.102.** Deskriptivna statistika za visine pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od dvije godine prema supstitucijskim metodama te tipu i starosti šumskoga reprodukcijuskog materijala

|             |                  |                  | N   | H1 - A.<br>sredina | H1 - St.<br>devijacija | H 2 - A.<br>sredina | H 2 - St.<br>devijacija |
|-------------|------------------|------------------|-----|--------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| UKUPNO      |                  |                  | 657 | 21,90839           | 16,24517               | 27,20472            | 17,01704                |
| METODA      | S. POD ZASTOROM  |                  | 367 | 19,35616           | 15,65342               | 23,57411            | 16,32604                |
| METODA      | S. U PROGALAMA   |                  | 145 | 19,07655           | 5,1236                 | 24,11172            | 6,24779                 |
| METODA      | JEDNOSTAVNA S.   |                  | 145 | 31,2               | 21,0141                | 39,4869             | 20,18863                |
| TRET        | OBL. KORJEN 1+0  |                  | 447 | 13,03244           | 3,59077                | 18,17562            | 5,57165                 |
| TRET        | GOLI KORIJEN 2+0 |                  | 210 | 40,80148           | 16,54291               | 46,42381            | 17,2387                 |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | OBL. KORIJEN 1+0 | 300 | 12,24067           | 2,74021                | 16,27633            | 4,17269                 |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | GOLI KORIJEN 2+0 | 67  | 51,21657           | 8,01127                | 56,25075            | 8,55473                 |
| METODA*TRET | S. U PROGALAMA   | OBL. KORIJEN 1+0 | 72  | 17,18889           | 3,93266                | 22,1                | 5,78755                 |
| METODA*TRET | S. U PROGALAMA   | GOLI KORIJEN 2+0 | 73  | 20,93836           | 5,49307                | 26,09589            | 6,08282                 |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | OBL. KORIJEN 1+0 | 75  | 12,20933           | 3,53478                | 22,00533            | 6,33527                 |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | GOLI KORIJEN 2+0 | 70  | 51,54714           | 9,80671                | 58,21714            | 10,93039                |



H 1 – visina biljaka (cm) prije prvoga vegetacijskog razdoblja nakon sadnje  
H 2 – visina biljaka (cm) prije drugoga vegetacijskog razdoblja nakon sadnje

**Slika 6.90.** 95 %-tni interval pouzdanosti za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom, na progalama i jednostavna supstitucija) te tipu i starosti šumskoga reprodukcijanskog materijala.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoji statistički značajna razlika u visinama biljaka i između metoda (pod zastorom, jednostavna supstitucija, na progalama) i između tretiranja (starost i tip sadnoga materijala) ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Relativno niske visine dvogodišnjih sadnica pribavljenih od poduzeća „Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb, nisu utjecale na razliku sadnoga materijala pri testiranju. Dokazane statistički značajne razlike između opažanja u vremenu te razlike u metodama tijekom vremena upućuju na to da se visina biljke na progalama, pod zastorom i na plohama jednostavne supstitucije ne ponašaju jednako u svim izmjerama, tj. biljke na plohama jednostavne supstitucije brže rastu od biljaka na ostalim pokusnim plohama. Također, statistički značajna razlika između izmjera tijekom vremena upućuje na to da općenito postoji razlika između visina ovih dviju analiziranih izmjera. Statistički nije potvrđena razlika između tretiranja tijekom vremena, što znači da se tretiranja (različiti tipovi i starosti sadnoga materijala) tijekom vremena ponašaju približno jednako (tablica 6.103.) ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,132776$ ).

**Tablica 6.103.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

|                           | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| METODA                    | 36886,4       | 2                 | 18443,2   | 327,30  | 0,000001 |
| TRETIRANJE                | 179156,3      | 1                 | 179156,3  | 3179,36 | 0,000001 |
| METODA*TRETIRANJE         | 63362,1       | 2                 | 31681,1   | 562,22  | 0,000001 |
| POGREŠKA                  | 36683,7       | 651               | 56,3      |         |          |
| VRIJEME                   | 8627,7        | 1                 | 8627,7    | 811,61  | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA            | 645,2         | 2                 | 322,6     | 30,35   | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE        | 24,1          | 1                 | 24,1      | 2,27    | 0,132776 |
| VRIJEME*METODA*TRETIRANJE | 195,7         | 2                 | 97,8      | 9,20    | 0,000115 |
| POGREŠKA                  | 6920,4        | 651               | 10,6      |         |          |

Rezultati „post hoc“ Tukey testa (tablica 6.104.) pokazuju da nema statistički značajne razlike između metoda pod zastorom i sadnje na progalama ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,966738$ ). Metoda jednostavne supstitucije statistički se značajno razlikuje od ostalih metoda ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Velika razlika u uspjehu sadnica obične bukve na pojedinim metodama uočava se i na slici 6.91.

**Tablica 6.104.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po pojedinim supstitucijskim metodama

|   | METODA                    | {1}      | {2}      | {3}      |
|---|---------------------------|----------|----------|----------|
|   |                           | 21,465   | 21,594   | 35,343   |
| 1 | Supstitucija pod zastorom |          | 0,966738 | 0,000022 |
| 2 | Supstitucija na progalama | 0,966738 |          | 0,000022 |
| 3 | Jednostavna supstitucija  | 0,000022 | 0,000022 |          |



**Slika 6.91.** Obična bukva četiri godine nakon sadnje na pokusnoj plohi jednostavne supstitucije (lijevo) i pod zastorom stabala obične smreke (desno)

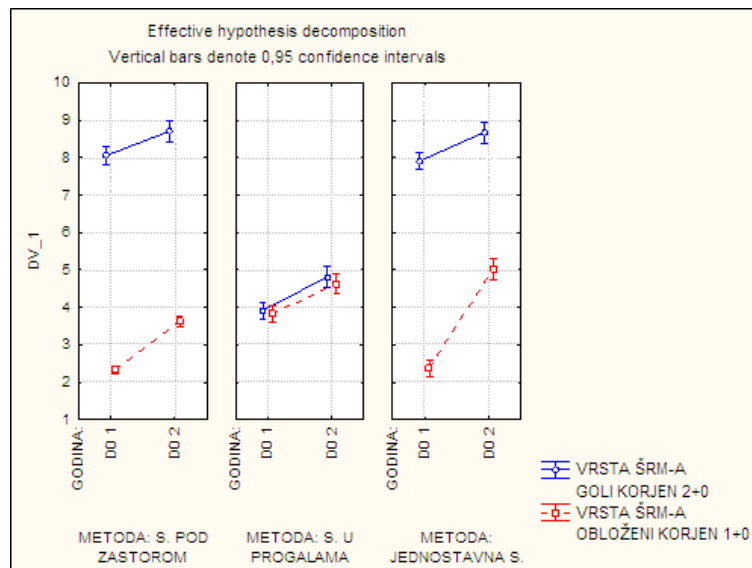
*6.9.2.3. Promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve (sve metode) na lokalitetu „Bistranska gora”*

Na slici 6.92. prikazana je usporedba trenda promjera na bazi stabljike pomlatka obične bukve u istraživanom razdoblju prema pojedinim metodama supstitucije (pod zastorom i jednostavna supstitucija) te tipu i starosti sadnoga materijala. U metodama pod zastorom i jednostavnoj supstituciji sadnice gologa korijena starosti 2 + 0 imaju veće promjere od jednogodišnjih sadnica obloženog korijena što je i logično. Ipak, razlika između promjera jednogodišnjih sadnica obloženog korijena i dvogodišnjih sadnica gologa korijena gotovo i ne postoji. Sadnice gologa korijena koje su sađene u progale imaju niže vrijednosti promjera, jednako kao što je to slučaj s visinama. Izvor ovoga odstupanja leži u istome razlogu, tj. drukčijem proizvođaču sadnoga materijala („Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb). Promjer na bazi stabljike jednogodišnjih sadnica obloženoga korijena najmanji je u metodi pod zastorom, nešto veće vrijednosti mogu se uočiti u sadnji na progalama, a najveći se porast promjera u drugoj godini istraživanja vidi se na pokusnim plohamo jednostavne supstitucije. Ovakav trend gotovo je jednak trendu visina, uz iznimku mnogo većega porasta promjera u metodi jednostavne supstitucije. U tablici 6.105. uočavaju se srednje vrijednosti promjera na bazi stabljike ukupno po metodama, pri čemu se jasno mogu uočiti najveće vrijednosti na pokusnim plohamo jednostavne

supstitucije u slučaju jednogodišnjih sadnica obloženoga korijena, dok ta razlika kod dvogodišnjih sadnica gologa korijena gotovo i ne postoji.

**Tablica 6.105.** Deskriptivna statistika za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od dvije godine prema supstitucijskim metodama te tipu i starosti sadnoga materijala

|             |                 |                 | N   | D0 1 - A.<br>sredina | D0 1 - St.<br>devijacija | D0 2 - A.<br>sredina | D0 2 - St.<br>devijacija |
|-------------|-----------------|-----------------|-----|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| UKUPNO      |                 |                 | 657 | 3,851507             | 2,415871                 | 5,076317             | 2,270958                 |
| METODA      | S. POD ZASTOROM |                 | 367 | 3,370681             | 2,395773                 | 4,543052             | 2,251352                 |
| METODA      | S. U PROGALAMA  |                 | 145 | 3,877379             | 0,960304                 | 4,721034             | 1,056668                 |
| METODA      | JEDNOSTAVNA S.  |                 | 145 | 5,042621             | 3,009824                 | 6,78131              | 2,390792                 |
| TRET        | OBL. KORJEN 1+0 |                 | 447 | 2,574653             | 0,95672                  | 4,01226              | 1,147832                 |
| TRET        | GOLI KORJEN 2+0 |                 | 210 | 6,569381             | 2,335974                 | 7,341238             | 2,408288                 |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM | OBL. KORJEN 1+0 | 300 | 2,325333             | 0,665659                 | 3,612367             | 0,921087                 |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM | GOLI KORJEN 2+0 | 67  | 8,051343             | 1,616914                 | 8,710299             | 1,642523                 |
| METODA*TRET | S. U PROGALAMA  | OBL. KORJEN 1+0 | 72  | 3,834306             | 1,14119                  | 4,630278             | 1,204483                 |
| METODA*TRET | S. U PROGALAMA  | GOLI KORJEN 2+0 | 73  | 3,919863             | 0,745959                 | 4,810548             | 0,886626                 |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.  | OBL. KORJEN 1+0 | 75  | 2,362667             | 0,797085                 | 5,018533             | 1,036608                 |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.  | GOLI KORJEN 2+0 | 70  | 7,914                | 1,432982                 | 8,67                 | 1,944208                 |



D0 1 – promjer na bazi biljaka (mm) prije prvog vegetacijskog razdoblja nakon sadnje

D0 2 – promjer na bazi biljaka (mm) prije drugog vegetacijskog razdoblja nakon sadnje

**Slika 6.92.** 95 %-tni interval pouzdanosti za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom, na progalama, jednostavna supstitucija) te tipu i starosti šumskog reprodukcijskog materijala.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoji statistički značajna razlika promjera na bazi stabljike između svih ispitivanih parametara ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Statistički značajna razlika utvrđena je između pojedinih metoda (pod zastorom, jednostavna supstitucija i na progalama) te pojedinih tretiranja (različiti tipovi i starost sadnoga materijala). To znači da je već opisana razlika između metoda statistički značajna. Također je utvrđena razlika između pojedinih godina izmjere, između metoda tijekom vremena te tretiranja tijekom vremena, što znači da se ni promjeri na bazi stabljike ne ponašaju priližno jednako ni između metoda ni između tretiranja (tablica 6.106.).

**Tablica 6.106.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

|                           | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| METODA                    | 485,30        | 2                 | 242,65    | 122,43  | 0,000001 |
| TRETIRANJE                | 2802,61       | 1                 | 2802,61   | 1414,01 | 0,000001 |
| METODA*TRETIRANJE         | 1302,19       | 2                 | 651,10    | 328,50  | 0,000001 |
| POGREŠKA                  | 1290,30       | 651               | 1,98      |         |          |
| VRIJEME                   | 337,75        | 1                 | 337,75    | 821,51  | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA            | 32,62         | 2                 | 16,31     | 39,67   | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE        | 40,30         | 1                 | 40,30     | 98,01   | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA*TRETIRANJE | 37,20         | 2                 | 18,60     | 45,24   | 0,000001 |
| POGREŠKA                  | 267,65        | 651               | 0,41      |         |          |

Tablica 6.107. prikazuje rezultate „post hoc” Tuckey testa. Uočava se statistički značajna razlika između promjera na bazi stabljike između svih metoda, pri čemu je bitno istaknuti da različiti proizvođač sadnoga materijala u slučaju dvogodišnjih sadnica gologa korijena na pokusnim plohama postavljenim u progalama ne utječe na razliku između metoda

**Tablica 6.107.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za promjer na bazi stabljike pomlatka obične bukve na lokalitetu „Bistranska gora“ po metodama

|   | METODA                    | {1}<br>3,9569 | {2}<br>4,2992 | {3}<br>5,9120 |
|---|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | Supstitucija pod zastorom |               | 0,001333      | 0,000022      |
| 2 | Supstitucija na progalama | 0,001333      |               | 0,000022      |
| 3 | Jednostavna supstitucija  | 0,000022      | 0,000022      |               |

#### 6.9.2.4. Supstitucija pod zastorom kulture obične smreke sadnjom sadnica obične jele (lokalitet „Bistranska gora“)

Na spomenutom je lokalitetu evidentiran uspjeh sadnje sadnica golog korijena obične jele u dvama navratima. Prve je godine sađena obična jela starosti 1 + 0, a nakon slaboga preživljenja (143 biljke od 300 posađenih biljaka, 47,67 %) sljedeće su se godine sadile sadnice gologa korijena 3 + 0. Na znatnom dijelu preostalih biljaka u drugoj godini utvrđeno je žućenje iglica, zbog čega se nisu obavljale daljnje izmjere biljaka u pokusu. Sadnja je ponovljena s većim sadnicama jer su jednogodišnje sadnice bile malih dimenzija (10 do 14 cm) te je njihov korijenov sustav uglavnom bio raspoređen u organskom te površinskom sloju tla, što se htjelo izbjeći većim sadnicama. Preživljenje sadnica starosti 3 + 0 iznosilo je 62 % (186 biljaka od 300 posađenih) nakon prve godine s visokim udjelom biljaka koje su na temelju žute boje iglica procijenjene kao polusuhe (21,33 %). Nakon druge godine preživljenje pada na 37 %, nakon čega se uspjeh biljaka na ovim, pokusnim plohama prestaje evidentirati.

#### 6.9.3. Usporedba sjetve i sadnje na lokalitetu „Bistranska gora“ (metoda pod zastorom i jednostavna supstitucija)

##### 6.9.3.1. Usporedba visine ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica (lokalitet „Bistranska gora“)

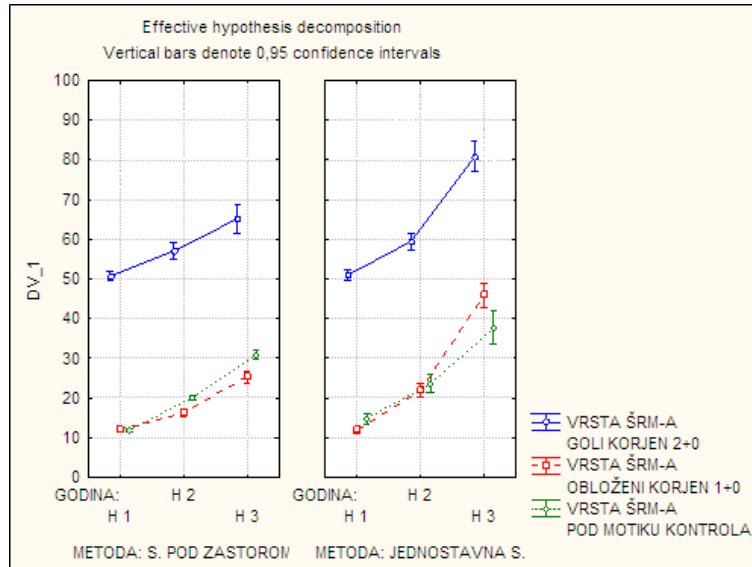
Usporedba visina pomlatka obične bukve po supstitucijskim metodama te usporedba između sjetve i sadnje tijekom triju godina praćenja prikaza na je na slici 6.93. Uočava se najveća razlika između starosti sadnoga materijala, dok je razlika između sjetve i jednogodišnjih sadnica neznatna u metodi pod zastorom. U prvojsu godini visine biljaka iz sjemena neznatno manje od

visina jednogodišnjih sadnica. Već su u drugoj godini visine biljaka iz sjemena veće od jednogodišnjih sadnica obloženog korijena, a ta se razlika povećava u trećoj godini. Kod metode jednostavne supstitucije također postoji razlika između sadnica i biljaka iz sjemena, ali dok u prvim dvjema godinama biljke iz sjemena imaju nešto veće visine, u trećoj godini sadnice pokazuju veće visine. U trećoj se godini uočava i najveća razlika između jednogodišnjih sadnica i biljaka iz sjemena (tablica 6.108.). Analizom nije obuhvaćena metoda „progale” jer ovdje nisu postavljene pokusne plohe sjetve, nego samo sadnje.

**Tablica 6.108.** Deskriptivna statistika za visine pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od tri godine prema supstitucijskim metodama

|             |                  |                  | N   | H1 - A.<br>sredina | H1 - St.<br>devijacija | H 2 - A.<br>sredina | H 2 - St.<br>devijacija | H 3 - A.<br>sredina | H 3 - St.<br>devijacija |
|-------------|------------------|------------------|-----|--------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| METODA      | S. POD ZASTOROM  |                  | 993 | 15,88973           | 12,36157               | 23,08308            | 13,92918                | 34,76557            | 19,07952                |
| METODA      | JEDNOSTAVNA S.   |                  | 162 | 24,29691           | 18,50458               | 33,52901            | 18,71246                | 54,24136            | 23,59512                |
| TRET        | OBL. KORJEN 1+0  |                  | 355 | 12,2462            | 2,89794                | 17,55296            | 5,19931                 | 29,66               | 13,75521                |
| TRET        | GOLI KORIJEN 2+0 |                  | 97  | 50,84742           | 9,25223                | 58,2701             | 10,36192                | 72,89794            | 16,49494                |
| TRET        | SJ. POD MOTIKU   |                  | 541 | 12,01275           | 4,08539                | 20,40296            | 8,36127                 | 31,27876            | 14,34628                |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | OBL. KORIJEN 1+0 | 280 | 12,25607           | 2,70945                | 16,36036            | 4,11073                 | 25,33143            | 8,00811                 |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | GOLI KORIJEN 2+0 | 49  | 50,73061           | 8,21957                | 57,0898             | 8,76036                 | 65,15714            | 11,69218                |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | SJ. POD MOTIKU   | 502 | 11,80259           | 4,03377                | 20,14243            | 8,5188                  | 30,77612            | 14,64219                |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | OBL. KORIJEN 1+0 | 75  | 12,20933           | 3,53478                | 22,00533            | 6,33527                 | 45,82               | 18,10423                |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | GOLI KORIJEN 2+0 | 48  | 50,96667           | 10,28702               | 59,475              | 11,74717                | 80,8                | 17,02609                |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | SJ. POD MOTIKU   | 39  | 14,71795           | 3,81589                | 23,75641            | 4,92485                 | 37,74872            | 7,1997                  |





H 1 – visina biljaka (cm) prije prvoga vegetacijskog razdoblja za sadnice te nakon prvoga vegetacijskog razdoblja za biljke iz sjemena  
 H 2 – visina biljaka (cm) prije drugoga vegetacijskog razdoblja za sadnice te nakon drugoga vegetacijskog razdoblja za biljke iz sjemena  
 H 3 – visina biljaka (cm) prije trećega vegetacijskog razdoblja za sadnice te nakon trećega vegetacijskog razdoblja za biljke iz sjemena

**Slika 6.93.** 95 %-tni interval pouzdanosti usporedbe visine pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom i jednostavna supstitucija).

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoje statistički značajne razlike između svih ispitivanih metoda te tretiranja (sjetve i sadnje) (tablica 6.109.). Stoga se opisane razlike između pojedinih metoda, koje su uočene na slici 6.93., mogu smatrati statistički značajnima. Također, interakcija između metoda te između sjetve i sadnje tijekom vremena pokazuje statistički značajnu razliku ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Sve ovo upućuje na to da se visine obične bukve ne ponašaju jednako tijekom triju vegetacijskih razdoblja u kojima je obavljena izmjera ni između sjetve i sadnje.

**Tablica 6.109.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

|                           | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F        | p        |
|---------------------------|---------------|-------------------|-----------|----------|----------|
| METODA                    | 13006         | 1                 | 13006     | 75,787   | 0,000001 |
| TRETIRANJE                | 336194        | 2                 | 168097    | 979,512  | 0,000001 |
| METODA*TRETIRANJE         | 1245          | 2                 | 623       | 3,628    | 0,026931 |
| POGREŠKA                  | 169382        | 987               | 172       |          |          |
| VRIJEME                   | 106242        | 2                 | 53121     | 1355,493 | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA            | 10347         | 2                 | 5173      | 132,008  | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE        | 757           | 4                 | 189       | 4,829    | 0,000708 |
| VRIJEME*METODA*TRETIRANJE | 3281          | 4                 | 820       | 20,932   | 0,000001 |
| POGREŠKA                  | 77360         | 1974              | 39        |          |          |

Rezultati „post hoc” Tuckey testa prikazani su u Tablici 6.110. Analizirajući ukupno vrijednosti visina sjetve i sadnje, može se reći da postoji statistički značajna razlika između svih promatranih tretiranja, tj. između šumskoga reprodukcijskog materijala različitih starosti i tipa te sjetve.

**Tablica 6.110.** Rezultati „post hoc” Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po tipu šumskoga reprodukcijskog materijala

|   | TRETIRANJE                  | {1}<br>3,9569 | {2}<br>4,2992 | {3}<br>5,9120 |
|---|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | obloženi korijen 1 + 0      |               | 0,000022      | 0,017286      |
| 2 | goli korijen 2 + 0          | 0,000022      |               | 0,000022      |
| 3 | sadnja sjemena „pod motiku” | 0,017286      | 0,000022      |               |

Tablica 6.111. prikazuje „post hoc” Tuckey test za visine u različitim godinama, gdje se uočava statistički značajna razlika između svih godina izmjere ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.111.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora“ po godinama mjerenja

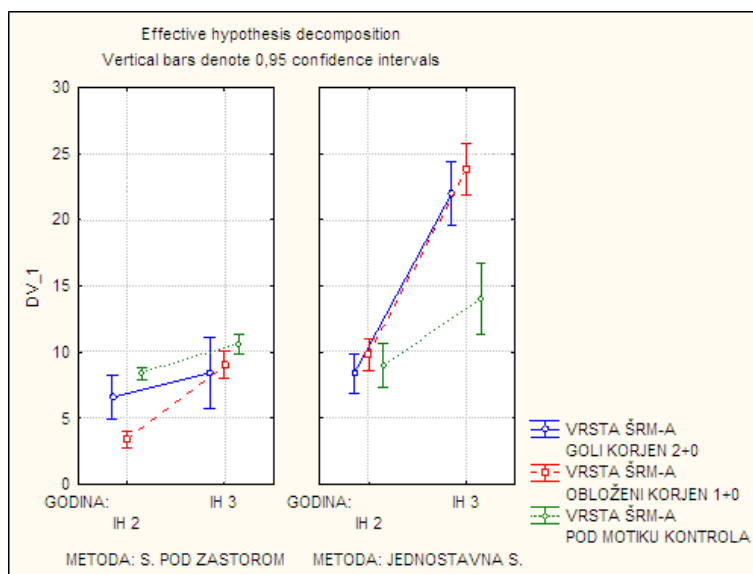
|   | VRIJEME | {1}<br>15,890 | {2}<br>23,083 | {3}<br>34,766 |
|---|---------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | H 1     |               | 0,000022      | 0,000022      |
| 2 | H 2     | 0,000022      |               | 0,000022      |
| 3 | H 3     | 0,000022      | 0,000022      |               |

6.9.3.2. *Usporedba visinskoga prirasta ponika i pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica (lokalitet „Bistranska gora“)*

Na slici 6.94. može se vidjeti usporedba trenda visinskoga prirasta pomlatka obične bukve u trogodišnjem razdoblju prema pojedinim metodama te sjetvi i sadnji. Kod metode pod zastorom najbolji je visinski prirast evidentiran kod biljaka iz sjemena i u drugoj i u trećoj godini nakon sjetve. Za sjetvom slijede dvogodišnje sadnice gologa korijena koje imaju veći visinski prirast od jednogodišnjih u drugoj godini. U trećoj godini bolji je visinski prirast utvrđen kod jednogodišnjih sadnica obložena korijena (tablica 6.112.). Na pokusnim plohama jednostavne supstitucije rezultati su drukčiji. Najbolji visinski prirast u objema godinama pokazuju jednogodišnje sadnice obložena korijena nakon kojih slijede dvogodišnje sadnice gologa korijena. Visinski prirast biljaka nastalih sjetvom u ovoj supstitucijskoj metodi u drugoj godini zaostaje tek neznatno, dok u trećoj godini znatno zaostaje za prirastom sadnica.

**Tablica 6.112.** Deskriptivna statistika za visinski prirast pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” u razdoblju od dvije godine prema supstitucijskim metodama te tipu i starosti sadnoga materijala

|             |                  |                  | N   | IH 2 - A.<br>sredina | IH 2 - St.<br>devijacija | IH 3 - A.<br>sredina | IH 3 - St.<br>devijacija |
|-------------|------------------|------------------|-----|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| Total       |                  |                  | 979 | 7,040041             | 5,753199                 | 11,7946              | 9,60521                  |
| METODA      | S. POD ZASTOROM  |                  | 818 | 6,613447             | 5,575005                 | 10,00307             | 7,70081                  |
| METODA      | JEDNOSTAVNA S.   |                  | 161 | 9,207453             | 6,16087                  | 20,89689             | 12,70226                 |
| TRET        | OBL. KORJEN 1+0  |                  | 351 | 4,750142             | 4,626624                 | 12,22222             | 10,82717                 |
| TRET        | GOLI KORIJEN 2+0 |                  | 86  | 7,59186              | 6,7901                   | 15,83023             | 11,64784                 |
| TRET        | SJ. POD MOTIKU   |                  | 542 | 8,435424             | 5,774272                 | 10,87732             | 8,12878                  |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | OBL. KORJEN 1+0  | 276 | 3,378986             | 2,916435                 | 9,0721               | 6,61475                  |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | GOLI KORIJEN 2+0 | 39  | 6,607692             | 5,070056                 | 8,43077              | 5,97112                  |
| METODA*TRET | S. POD ZASTOROM  | SJ. POD MOTIKU   | 503 | 8,388668             | 5,921879                 | 10,63581             | 8,29315                  |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | OBL. KORJEN 1+0  | 75  | 9,796                | 6,067736                 | 23,81467             | 14,78648                 |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | GOLI KORIJEN 2+0 | 47  | 8,408511             | 7,902994                 | 21,97021             | 11,67502                 |
| METODA*TRET | JEDNOSTAVNA S.   | SJ. POD MOTIKU   | 39  | 9,038462             | 3,318181                 | 13,99231             | 4,62894                  |



IH 1 – visinski prirast biljaka (cm) u prvome vegetacijskom razdoblju nakon sadnje ili sjetve  
 IH 2 – visinski prirast biljaka (cm) u drugome vegetacijskom razdoblju nakon sadnje ili sjetve  
 IH 3 – visinski prirast biljaka (cm) u trećemu vegetacijskom razdoblju nakon sadnje ili sjetve

**Slika 6.94.** 95 %-tni interval pouzdanosti usporedbe visinskoga prirasta pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po supstitucijskim metodama (pod zastorom i jednostavna supstitucija) te po tipu i starosti sadnoga materijala.

Analiza varijance ponovljenih mjerenja pokazala je da postoje statistički značajne razlike visinskoga prirasta pomlatka između metoda i metoda i tretiranja ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ), ali ne

postoje statistički značajne razlike između pojedinih tretiranja, tj. između različitoga sadnoga materijala i biljaka nastalih sjetvom (tablica 6.113.). Dakle, opisane razlike između pojedinog tipa i starosti sadnica te biljaka iz sjemena, koje su uočene na slici 6.94., nisu statistički značajne. Ipak, interakcija između visinskog prirasta u trima različitim godinama, zatim interakcija između metoda i vremena, tretiranja i vremena te metoda i tretiranja pokazuje statistički značajnu razliku ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ). Ovo upućuje na to da se visinski prirasti ponašaju različito u tri godine izmjere te da se metode, ali i različita tretiranja (sadjna i sjetva) ponašaju različito tijekom istraživanog razdoblja.

**Tablica 6.113.** Rezultati analize varijance ponovljenih mjerenja za visinski prirast pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po metodama, godinama, tipu i starosti sadnoga materijala

|                           | Suma kvadrata | Stupnjevi slobode | Varijanca | F       | p        |
|---------------------------|---------------|-------------------|-----------|---------|----------|
| METODA                    | 8965,51       | 1                 | 8965,51   | 135,029 | 0,000001 |
| TRETIRANJE                | 186,74        | 2                 | 93,37     | 1,406   | 0,245553 |
| METODA*TRETIRANJE         | 3303,98       | 2                 | 1651,99   | 24,881  | 0,000001 |
| POGREŠKA                  | 64604,25      | 973               | 66,40     |         |          |
| VRIJEME                   | 9776,06       | 1                 | 9776,08   | 283,869 | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA            | 2833,31       | 1                 | 2833,31   | 82,271  | 0,000001 |
| VRIJEME*TRETIRANJE        | 1756,89       | 2                 | 878,45    | 25,508  | 0,000001 |
| VRIJEME*METODA*TRETIRANJE | 622,25        | 2                 | 311,12    | 9,034   | 0,000130 |
| POGREŠKA                  | 33508,81      | 973               | 34,44     |         |          |

Iz tablice 6.114., u kojoj su prikazani rezultati „post hoc” Tukey testa, uočava se statistički značajna razlika između visinskih prirasta u svim istraživanim tretiranjima, tj. razlika visinskoga prirasta dvogodišnjih sadnica golog korijena, jednogodišnjih sadnica obložena korijena te biljaka nastalih sjetvom (svi  $p < 0,05$ ,  $p < 0,0001$ ).

**Tablica 6.114.** Rezultati „post hoc“ Tuckey testa za visinu pomlatka obične bukve iz sjemena i sadnica na lokalitetu „Bistranska gora” po tipu šumskoga reprodukcijuskog materijala

|   | TRETIRANJE                  | {1}<br>8,4862 | {2}<br>11,711 | {3}<br>9,6564 |
|---|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | obloženi korijen 1 + 0      |               | 0,000031      | 0,008529      |
| 2 | goli korijen 2 + 0          | 0,000031      |               | 0,006026      |
| 3 | sadnja sjemena „pod motiku“ | 0,008529      | 0,006026      |               |

**7. RASPRAVA**

Ekonomski ciljevi i nedostatak znanstvenih spoznaja supstitucije smrekovih kultura razlozi su zašto je do pedesetih godina dvadesetoga stoljeća uspješna supstitucija obavljena tek na nekoliko lokaliteta u Europi. U Republici Hrvatskoj primjeri supstitucije kultura obične smreke stariji od petnaest godina u dostupnoj literaturi nisu zabilježeni. Istraživanjem su evidentirani primjeri supstitucije do deset godina starosti, od kojih su istraživanjem obuhvaćeni oni koji su bili uspješni. Ipak, u praksi često nalazimo neuspjele primjere ovakvoga zahvata u vegetacijskom pojasu hrasta kitnjaka te dijelom i u vegetacijskom pojasu obične bukve. Štete su u staništu stvorile ekološke uvjete istovjetne onima koji nastaju pri obavljanju čiste sječe na malim površinama, dakle pogoršali su se mikroklimatski uvjeti u kulturi koji su postojali na kraju njezine ophodnje. Na nekim je lokacijama utvrđena degradacija staništa nakon više neuspjelih pokušaja sjetve i sadnje, što, osim značajnim ekonomskim izdancima rezultira i gubitkom povoljnih uvjeta za supstituciju klimatogenim vrstama. U takvim je slučajevima potrebno ponoviti nasade vrsta sa širom ekološkom valencijom koje imaju meliorativnu sposobnost (Matić i dr., 2003. b), ali i mnogo manju gospodarsku i općekorisnu vrijednost.

Supstituciju kultura obične smreke klimatogenim vrstama drveća prate teškoće, izdanci i rizici koji su dokazani i ovim istraživanjem, a predmet su i stalnih istraživanja u ostalim europskim zemljama (Lúpke i dr., 2004; Spiecker i dr., 2004). Na preživljenje i rast mladog naraštaja tijekom supstitucije utječu mnogobrojni čimbenici (Kulhavy i dr., 2004). Uspjeh zahvata ovisi o strukturi kulture, njezinoj stabilnosti prema abiotskim i biotskim čimbenicima, zdravstvenom stanju stabala, spremnosti staništa za prihvatanje klimatogenih vrsta, mehaničkim i kemijskim obilježjima tla, količini i kemizmu šumske prostirke, pravilnom odabiru supstitucijske metode, tipu šumskoga reprodukcijanskog materijala te o načinu pripreme staništa. Ovi mnogobrojni čimbenici na koje čovjek može utjecati pri zahvatu, zajedno s biološkim i klimatskim čimbenicima na koje imamo tek ograničen utjecaj, razlog su što je supstitucija obične smreke složen, zahtjevan i skup šumskouzgojni zahvat.

S obzirom na to da takav zahvat iziskuje znatna financijska sredstva (Kenk i Guehne 2001; Jacobsen 2004), pokusne su plohe osnovane sa svrhom istraživanja supstitucijskih metoda s najmanjim ekološkim i ekonomskim rizicima za pojedini vegetacijski pojas. Naime, ponavljanje sjetve i sadnje trebali bi se izbjeći ne samo zbog ekonomskih izdataka nego i zbog pogoršanja stanišnih uvjeta koje nastaje vrlo brzo nakon otvaranja sklopa kulture. Negativne ekološke posljedice koje se mogu pojaviti u ovakvim slučajevima gubitak su organskoga sloja, erozija



površinskih slojeva mineralnog dijela tla, gubitak povoljnih mikroklimatskih uvjeta (npr. optimalno osvjetljenje, zaštita od suncožara i mraza), intenzivna pojava korova, povećane štete od glodavaca i ptica na šumskome reprodukcijском materijalu i sl.

Istraživanjem je utvrđena velika razlika između kultura obične smreke u pojedinim dijelovima Republike Hrvatske, što je utjecalo na odabir lokaliteta istraživanja. Utvrđena je razlika rezultat izostanka šumskouzgojnih zahvata na pojedinim lokalitetima ili njihovo kašnjenje te neprikladnost uvjeta staništa za uspjeh obične smreke. To je rezultiralo bitno drukčijom strukturom, stabilnošću i zdravstvenim stanjem te različitom sposobnosti prilagodbe na predstojeće klimatske promjene. Iako postoje naznake da je pošumljavanje običnom smrekom započelo još prije otprilike 150 godina, u službenim dokumentima postoji samo mali udio kultura obične smreke starijih od 50 godina. Naime, šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, prema Uredbi Šumskog gospodarstva za područje Like i Gorskog kotara, sve regularne sastojine i šumske kulture unutar područja prebornog gospodarenja morale su se pripisati prebornim sastojinama bukve i jele pa tako i kulture obične smreke. U takvim kulturama gospodarenje ne odgovara tipičnom gospodarenju kulturama obične smreke, a često je i potpuno izostalo te one nisu bile prikladne za postavljanje pokusnih ploha. U većini slučajeva (s iznimkom sjemenskih sastojina starijih od 100 godina) nije ni bilo moguće na terenu razlučiti prirodne smrekove sastojine od šumskih kultura koje bi bile prikladne za istraživanje ove problematike (Tijardović i Perić, 2013) te su stoga odabrane kulture starosti oko 50 godina.

U svim vegetacijskim pojasima, zbog utjecaja olujnih nevremena i napada potkornjaka, na dijelu ispitivane površine morala se obaviti jednostavna supstitucija. Na tim je pokusnim plohamo potvrđeno da to razdoblje označuje vrijeme iznimne osjetljivosti i izloženosti i šumske kulture i mladog naraštaja velikom broju abiotskih i biotskih faktora rizika (Matić i dr., 2003. B; Pommerening, 2006). Ovo je osobito važno za supstituciju u vegetacijskom pojasu obične bukve i obične jele, gdje ciljane vrste imaju usku ekološku valenciju (Matić i dr., 2001; Matić i dr., 2003. b). Stoga je prije planiranja zahvata potrebno procijeniti stvarne rizike (Kazda, 2005. b), što obuhvaća:

- procjenu pokazatelja rizika kulture obične smreke i staništa
- procjenu je li stanište spremno za supstituciju, tj. hoće li se zahvat obaviti prijelaznim ili klimatogenim vrstama (odabir vrste za supstituciju)
- odabir metode supstitucije.

Kako bi se postigli dobri rezultati, osim procjene rizika, supstituciji treba prethoditi i detaljno planiranje u kojemu je potrebno odgovoriti na osnovna pitanja kao što su:

- koji će se zahvati obaviti u nadstojnoj etaži (tip i intenzitet otvaranja sklopa)
- kakav je horizontalni raspored vrsta smjese (ako je cilj mješovita kultura)
- koji je način pripreme tla
- koja je optimalna metoda sjetve ili sadnje
- koja je optimalna veličina i starost sadnog materijala.

### **7.1. Procjena pokazatelja rizika šumske kulture i staništa tijekom supstitucije**

Prvi korak koji prethodi supstituciji jest procjena potencijala rizika staništa, a kao najznačajniji ističe se rizik od suše. Taj rizik proizlazi iz samih obilježja staništa te utječe na intenzitet mogućih šteta od biotskih čimbenika. Naime, plitko zakorjenjivanje obične smreke naglašenije je na tlima nepovoljnih obilježja (npr. plitka i teška tla). Koncentracija  $Al^{3+}$  i ograničavajući sadržaj  $Mg^{2+}$  također uzrokuju da se korijenov sustav uglavnom raspoređuje u H-horizonte ili Ae/Ep-horizonte (Roberts i dr., 1989; Vavříček i dr., 2005). To stablima dodatno ograničava dostupnost vode tijekom pojave klimatskih ekstrema (dugotrajne visoke ljetne temperature, nepravilno raspoređene oborine) (Heitz, 2000). Tada je otpornost stabala na napade potkornjaka znatno umanjena, dok su uvjeti za razvoj štetnika poboljšani (Pernek, 2001). Upravo su suša i napadi potkornjaka najučestaliji uzroci sušenja obične smreke u cijeloj Europi (Modrzyński, 2003; Grodzki i dr., 2006). Suša može dodatno negativno utjecati na stabla i na način da se tijekom suhих godina Mg mineralizira iz iglica u manjoj mjeri, zbog čega se smanjuje njihovo uzimanje iz tla i slabije razvija korijenov sustav. Zbog jače nitrifikacije ispiranje nitrata u kombinaciji s Mg može biti intenzivnije pojavom obilnih kiša (Malek i Grabowski, 2010). Kako su klimatski uvjeti koji pozitivno utječu na smanjenje populacije potkornjaka upravo oni koji povoljno utječu na rast i vitalnost stabala, moguće je procijeniti rizik tijekom zahvata već na temelju klimatskih obilježja kao što su temperatura i prosječna godišnja količina oborina. Koncept pristupa sušenju šuma poprima oblik provođenja zasebnih studija kroz analizu svakog simptoma, vrste i staništa zasebno te kao takav postaje nov način znanstvenoga pristupa rješavanju problema u šumarstvu (Kandler i Innes, 1995; Kandler 2014).

Na istraživanim je lokalitetima procijenjeno da postoje rizici zbog čimbenika staništa (zabilježene štete od potkornjaka na svim lokalitetima), ali ih nije bilo moguće odijeliti od utjecaja prethodnog gospodarenja. Tekstura tala upućuje na slabiju zračnost tla na lokalitetu „Gornja Kupčina“, dok su na ostalim lokalitetima obilježja tala povoljna. Na lokalitetu „Bistranska gora“, gdje je obavljena supstitucija pod zastorom stabala obične smreke, već su u drugoj godini nakon osnivanja pokusa uočeni žućenje krošanja te štete od potkornjaka na pojedinačnim stablima, dok je na kraju istraživanja postotak sušaca iznosio 24 % (slika 7.1.). Defolijacija je posljedica stresa, ali ujedno i sam stres. Kritična granica mase preostalih iglica (eng. *critical foliage boundary*) za smreku iznosi oko 50 % (Modrzyński, 2003) pa je stoga i prirast preostalih stabala na pokusnim ploham smanjen. Tijekom propadanja stabala prirast se premješta na gornji dio debla, što dovodi do promjena u obliku i daljnjoj destabilizaciji stabala (Franz, 1983).



**Slika 7.1.** Sušenje obične smreke na lokalitetu „Bistranska gora“ (Šumarija Zagreb, slika lijevo) te na pokusnim ploham (slika desno) četiri godine nakon osnivanja pokusa

Rizici vezani za šumsku kulture odnose se na njezinu stabilnost prema vjetru i olujnom nevremenu. Stabilnost je osobito bitna na kraju ophodnje, kada kultura mora osigurati optimalne svjetlosne i toplinske uvjete za rast i razvoj budućeg naraštaja. Ipak, znatnije zadiranje u strukturu kultura po principima naprodnog sijeka, koje je nužno da bi se osigurali optimalni uvjeti za ponik i pomladak, dodatno izlaže stabla utjecaju vjetra (Zeng i dr., 2010). Stoga je za ovu vrstu plitkog, tanjurastoga korijenovog sustava, koji je osobito podložan vjetroizvalama (Vidaković i Franjić, 2004), iznimno bitno utvrditi stabilnost kao osnovni preduvjet uspješne supstitucije. Temeljica

(ha<sup>-1</sup>) te koeficijent vitkosti stabala ( $h/d_{1,3}$ ) već se duži niz godina primjenjuju u predviđanju osjetljivosti na štete od vjetra i olujnog nevremena kod crnogoričnih vrsta (Cremer i dr., 1982; Nykänen i dr., 1997; Wonn i O'Hara, 2001; Vaughn, 2007). Stabilnost kultura može se iskazati i parametrima temeljenima na dimenzijama krošanja stabala (npr. odnos dužine krošnje i visine stabla, odnos promjera krošnje i prsnoga promjera debla), međutim, u područjima s učestalim snježnim oborinama ti parametri ne osiguravaju dovoljno pouzdanu procjenu (Wonn i O'Hara, 2001), osobito ako se poklope s godinom punog uroda (Oršanić, 1994).

Istraživanjem strukture kultura na lokalitetu „Gornja Kupčina“ utvrđena je visoka nestabilnost kao rezultat izostalih ili neodgovarajućih prorjeda. Odnosi 80 : 1 čine prag stabilnosti za crnogorične vrste (Peltola i dr., 1999; Wonn i O'Hara, 2001). U odsjeku 11 b utvrđena je najnepovoljnija struktura. Naime, nijedno stablo nema povoljan koeficijent vitkosti ( $< 80 : 1$ ), dok su zabilježena i stabla s omjerom većim od 200 : 1. Ovdje nije bilo opravdano istražiti metodu supstitucije pod zastorom krošanja smrekove kulture. Izražena unutarvrstna kompeticija u tlu do 80 cm dubine te povećano zadržavanje vode na krošnjama (manja količina vode koja dolazi do tla, Formanek i Vranova, 2003) rezultat su prevelikoga broja stabala (ha<sup>-1</sup>) zbog neodgovarajućeg gospodarenja. Izostanak njege kulture uzrokovao je dodatne stresne uvjete, zbog čega su stabla bila podložna napadu potkornjaka. Visoki udjel broja stabala u nepovoljnim kategorijama koeficijenta vitkosti razlog je što su gotovo sva stabla u ovim kulturama stradala od vjetra u iduće tri godine od postavljanja pokusnih ploha. Visoku ovisnost šteta o vjetru i vitkosti stabala potvrđuje i Peltola (2006). Lokaliteti „Doljani“ i „Pregrada – Klanjec“ nisu obuhvaćeni istraživanjem jer je sanitarni sijek u kulturama zbog napada potkornjaka obavljen prije početka istraživanja. Na lokalitetu „Bistranska gora“ struktura je povoljnija u usporedbi s prethodnim lokalitetom, zbog čega je sklop otvoren principima napludnog sijeka. Vitkost stabala ovdje je optimalna za polovicu stabala (51,4 %), dok se preostala polovica nalazi uglavnom u graničnom razredima (80 : 1 do 90 : 1). Nešto veće koeficijente vitkosti od preporučenih u drugoj kulturi na Medvednici utvrđuje i Oršanić (1994).

U uvjetima narušene strukture preporučuje se otvaranje sklopa tek iznad pomladnih površina (veličine 400 do 2000 m<sup>2</sup>) na samo 60 % površine kulture, s pojasovima netaknutoga sklopa širine 20 do 40 m (Hering i Irrgang, 2005). Ipak, preporučuje se pravilnim uzgojnim zahvatima utjecati na stabilnost smrekovih kultura već od prvih prorjeda jer je dobra struktura nužna za ispunjenje osnovnog cilja postavljenog pri osnivanju kulture. Prorjedama jačih

intenziteta, kojima se uklanjaju stabla manjih promjera, poboljšavaju se faktori stabilnosti (Wonn i O'Hara, 2001; Slodičák i Novák, 2003; Olofsson i Blennow, 2005; Slodičák i Novak, 2006). Povoljan je faktor stabilnosti prije svega funkcija razmaka stabala, što nam omogućuje da na stabilnost stabala utječemo kontrolom gustoće sastojine. Sadnjom optimalnih razmaka pri osnivanju stvaraju se sastojine u kojima se izbjegava razvoj nestabilnih stabala. U starijim kulturama koje tvore stabla graničnih vrijednosti faktora stabilnosti potrebna je serija prorjeda niskog intenziteta kako bi se bez ugrožavanja stabilnosti preostalim stablima omogućilo da reagiraju na povećanje prostora.

Nastale štete u istraživanim kulturama upozoravaju nas da je pri procjeni stabilnosti potrebno obuhvatiti sve moguće negativne utjecaje kao što su prethodno gospodarenje, štete od potkornjaka i gljivičnih organizama, štete nastale pri vuči drvnih sortimenata, onečišćenje staništa te globalne klimatske promjene (Larsen, 1995). Projekcije promjene oborina i temperatura zraka Državnoga hidrometeorološkog zavoda upućuju na nepovoljan trend za područja gorske i središnje Hrvatske (Branković i dr., 2010; Branković i dr., 2012). Posljednjih je godina zabilježena i povećana učestalost olujnih nevremena na cijelome kontinentu te se predviđa nastavak takvog trenda (Seidl i dr., 2014). Rjeđe smrzavanje tla od kasne jeseni do ranog proljeća, što je upravo najvjetrovitiji dio godine, uzrokovat će povećanje šteta od vjetra u budućnosti (Peltola i dr., 1999). Ostali utjecaji globalnog zatopljenja na šumske kulture tek se trebaju istražiti (Myneni i dr., 1997; Menzel i Fabian, 1999; Myneni i dr., 2001; IPCC, 2007; Pretzsch i dr., 2013). U Republici Hrvatskoj nedostaju znanstvena istraživanja kojima bi se razvili instrumenti procjene učestalosti olujnih nevremena, osjetljivosti šuma na klimatske promjene, kao i instrumenti za gospodarenje koje bi bilo prilagođeno na takve promjene. Neke od europskih zemalja već razvijaju takve instrumente te bilježe njihovu uspješnu primjenu u praksi (Brunner i dr., 2006; Zeng i dr., 2007; Ikonen i dr., 2008; Gardiner i dr., 2008; Blennow i dr., 2010; Kanyama i Blennow, 2014). Može se zaključiti da istražene kulture obične smreke, osobito monokulture, posjeduju rizike za obavljanje zahvata supstitucije. Rizike tijekom supstitucije obične smreke utvrđuju i Lüpke i dr. (2004) u ostalim dijelovima Europe. Ipak, potrebno je istaknuti da je moguće umanjiti pa čak i potpuno izbjeći navedene rizike. To se može postići pravilnim odabirom staništa i načina pošumljavanja, kao i odgovarajućom njegom tijekom cijele ophodnje. Sve to od presudne je važnosti za ispunjavanje osnovne uloge šumske kulture.

Izbjegavanje ili smanjenje rizika postiže se osnivanjem stabilnijih mješovitih kultura (Oršanić, 1994), a dobar su izbor mješovite kulture obične smreke i bjelogoričnih vrsta. Već udio od 20 do 40 % bjelogoričnih vrsta dovoljan je za dobru stabilnost prema abiotskim i biotskim čimbenicima. Više recentnih znanstvenih studija potvrđuje da mješovite kulture podupiru ekološke, ekonomske i socijalno-kulturne dobrobiti i funkcije na isti, pa čak i bolji način od monokultura (Wilde, 1957; Rothe, 1997; Glatzel i dr., 2000; Pretzsch, 2003; Spiecker i dr., 2004. D; Scherer-Lorenzen i dr., 2005; Hector i Bagchi, 2007; Knoke i dr., 2008; Pretzsch i Schütze, 2009; Pretzsch, 2013; Kacalek i dr., 2013). U komparativnim istraživanjima monokultura i mješovitih kultura obične smreke i obične bukve utvrđeno je da miješanje bukve i smreke rezultira međusobnom stimulacijom proizvodnje i ubrzavanjem rasta. Također je utvrđeno da je prebacivanje ili podbacivanje rasta mješovitih nasuprot čistim kulturama izravna posljedica stanišnih uvjeta (Tham, 1994; Rothe i Binkley, 2001; Frivold i Frank, 2002; Pretzsch, 2003).

Odluka o udjelu obične smreke u mješovitoj šumskoj kulturi ovisi o obilježjima staništa i gospodarskim ciljevima (Kazda i Pichler, 1997). Što stanište ima bolje uvjete za običnu smreku i što je veći ekonomski interes, to će njezin udjel biti veći i obrnuto. Kombinacija vrsta u mješovitim kulturama može biti smjesa obične smreke s običnom bukvom i običnom brezom te u nižim predjelima s gorskim javorom ili malolisnom lipom (Miles, 1986; Oršanić, 1994; Heitz, 2000; Brandberga i dr., 2000; Lüpke i dr., 2004; Prevosto i Balandier, 2007; Novak i Slodičak, 2009; Kupka i Podrázský, 2011). Mnogi su primjeri takvih mješovitih kultura koje se uzgajaju u ophodnji od 45 do 50 godina, a uvjeti organske tvari te mikroklimatski uvjeti povoljniji su nego kod monokultura obične smreke.

Komparativna istraživanja mješovitih kultura obične smreke i bjelogoričnih vrsta (o. obične bukva, o. obične breza, min. udio 30 %) s čistim kulturama obične smreke utvrđuju i povoljnije uvjete kemizma i razgradnje šumske prostirke mješovitih kultura, što se obično ističe kao glavni nedostatak kultura obične smreke. Takvi se, povoljniji uvjeti očituju u mikrobiološkoj sukcesiji, manjoj količini nerazgrađene organske tvari, većim pH-vrijednostima, manjim zalihama ugljika (C), većim vrijednostima fosfora (P), povoljnijim C/N odnosom (Alriksson i Olsson, 1995; Heitz, 2000; Ritter i dr., 2003; Albers i dr., 2004; Elmer i dr., 2004; Sariyildiz i dr., 2005; Jansen i dr., 2005; Oulehle i dr., 2007; Bonifacio i dr., 2008, Albers i dr., 2009; Fabianek i dr., 2009, Menšik i dr., 2009; Collignon i dr., 2011; Kacalek i dr., 2013). Mješovite kulture obične smreke i obične bukve imaju i manju količinu mahovina od smrekovih monokultura (Gärtner i Reif, 2005).

Mješovite kulture učinkovitije izvlače vodu iz dubljih slojeva tla od čistih smrekovih monokultura (Schume i dr., 2004). S pedološkoga gledišta, pri supstituciji smrekovih kultura može doći do nedostatka Ca u gornjim slojevima tla koji se može izbjeći primjesom bjelogoričnih vrsta dubljega korijenova sustava. Tako se korijenov sustav u smjesi s običnom bukvom organizira u dva sloja, pri čemu bukva izvlači Ca iz dubljih slojeva tla i vraća putem listinca ponovno u šumsku prostirku, gdje Ca umanjuje acidifikaciju i olakšava aktivnost mikroorganizama (Berger i dr., 2004; Berger i dr., 2006; Klimo i Kulhavy, 2006). Bjelogorične vrste koje se prirodnim razvojem pojavljuju u progalama kultura obične smreke usporuju ili čak sprječavaju podzolizaciju (Bonifacio i dr., 2008).

Pozitivan utjecaj bjelogoričnih vrsta u omjeru smjese mješovitih kultura ne može se zanemariti ni s pedološkog aspekta, pa se preporučuje osnivanje mješovitih kultura kao bolja strategija kojom se nakvalitetniji način meliorira tlo za supstituciju klimatogenim vrstama.

Među ostalim, crnogorične su vrste osjetljivije te imaju niži prag stabilnosti od bjelogoričnih jer ne odbacuju iglice tijekom zime, što znatno utječe na statičku stabilnost („mocar snijeg“), ali i na sakupljanje i zadržavanje onečišćenja koje može biti i do triput veće (Abrahamsen i dr., 1976; Hovland i dr., 1980, Schulze, 1989; Berger i dr., 2008; Barreleta i dr., 2008).

## **7.2. Odabir ciljanih vrsta za supstituciju kultura obične smreke**

Odabir ciljanih vrsta za supstituciju bilo koje šumske kulture presudan je za očuvanje povoljnih svojstava koja su postignuta na kraju ophodnje (meliorativna uloga šumskih kultura). Pogrešan odabir dovodi do nepotrebnih rizika te uzrokuje nepovratne ekonomske i ekološke gubitke, osobito kada nastupi degradacija šumskog tla. Iako je svrha supstitucije kultura obične smreke njezina zamjena klimatogenim vrstama drveća koje odgovaraju pojedinom pojasu šumske vegetacije, postavlja se pitanje koliko je to doista moguće te je li potrebno osnovati nasad bjelogoričnih vrsta koji će dodatno popraviti uvjete u tlu. Unatoč činjenici da u procesu prirodnog razvoja obična bukva i obična jela spontano pridolaze u sastojinama obične smreke odmah nakon zatvaranja sklopa (Tonković, 2014), uvjeti u šumskim kulturama bitno su drukčiji. Naime, u tamnijim i hladnijim uvjetima, sa znatnom količinom nerazgrađene organske tvari te osiromašenjem hraniva i zakiseljavanjem organskoga sloja, što izdvaja kulture obične smreke od

kultura ostalih crnogoričnih vrsta (Oršanić, 1994, 1995; Janišova i dr., 2007), upitno je koliko takvi uvjeti odgovaraju mladom naraštaju klimatogenih vrsta koje imaju visoke ekološke zahtjeve (Wilde, 1957; Matić i dr., 2001, 2003. b; Novak i Slodičak, 2004). S ekološkog i uzgojnog aspekta, najbolji pokazatelj za ispravni odabir vrsta jest spontana pojava šumskih vrsta i njihova dinamika ne površini prepuštenoj prirodnom procesu razvoja. Ako su uvjeti u kulturi povoljni za pridolazak klimatogene vegetacije, ona će se pojavljivati spontano pod zastorom stabala ako su stvoreni uvjeti optimalne osvjetljenosti (Matić, 2000). Kako su razgradnja organske tvari šumske prostirke, mikrobiološka aktivnost te razvoj korovske vegetacije procesi koji su snažno uvjetovani toplinom i količinom svjetla u šumskoj kulturi te su njihovi zahtjevi mnogo veći od zahtjeva klimatogenih vrsta, evidentirana je promjena ovih elemenata u različitim uvjetima osvjetljenosti. Utvrđena je pojava drvenastih vrsta i korova u različitim periodima nakon primjene pojedine supstitucijske metode (100 % užitog svjetla čista sječa, 10 – 30 % užitog svjetla pod zastorom te  $\geq 70$  % užitog svjetla na progalama). Istraživanje je jasno potvrdilo da je otvaranje skopa u kulturama obične smreke kompleksan zahvat, osobito ako su prethodno utvrđeni rizici staništa i kulture.

Kako u prirodnim uvjetima vegetacijski pojasovi ne slijede jasnu granicu te dolazi do njihova miješanja, u istraživanje je uključeno i fitocenološko snimanje šumske vegetacije radi točnog utvrđivanja klimatogenih zajednica koje su optimalne za svaki istraživani lokalitet. Istraživanje je obavljeno u prirodnim sastojinama koje su najbliže istraživanim kulturama obične smreke kako bi se definirali stvarni uvjeti staništa. Na ovaj je način isključena mogućnost utjecanja prevladavajućih ekoloških čimbenika koji bi eventualno ograničili razvoj šumske vegetacije u klimatogene zajednice. To je obavljeno za sve lokalitete, iako na lokalitetu „Gornja Kupčina“ nije moglo biti utvrđeno s potpunom sigurnošću jer se u neposrednoj okolici nema prirodnih sastojinina, već su pokusne plohe smještene između šumske kulture i naselja. Nisu utvrđeni ograničavajući čimbenici staništa za razvoj vegetacije u klimatogene šumske zajednice ni na jednom lokalitetu. Ipak, na svim pokusnim plohama jednostavne supstitucije utvrđena je intenzivna pojava korovske vegetacije koja je negativno utjecala na uspjeh ponika i pomlatka. Istraživanje obuhvaća samo one vegetacijske pojaseve u kojima postoje uvjeti za uspjeh obične smreke te je stoga opravdano pošumljavanje ovom vrstom u budućnosti. Kulture obične smreke koje se nalaze u pojasu hrasta lužnjaka već su uglavnom stradale od različitih štetnih utjecaja te



su supstituirane zbog lošega zdravstvenog stanja. U budućnosti nije opravdano osnivanje novih smrekovih kultura u tome pojasu jer je to područje ekološki neprikladno za uspijevanje ove vrste.

Kako je utvrđena pojava klimatogenih vrsta u procesu prirodnog razvoja pod zastorom, na progalama te nakon čiste sječe kulture obične smreke već u prvoj godini nakon otvaranja sklopa, može se zaključiti da su za njihovu pojavu bitniji svjetlosni uvjeti od količine šumske prostirke. U omjeru smjese na pokusnim plohama pod zastorom te na rubovima šumske kulture utvrđena je pojava klimatogenih vrsta, iako je u omjeru smjese najveći udio pratećih vrsta. Pojava klimatogenih vrsta u kulturama lošega zdravstvenog stanja, narušene strukture te s većim prinosom sirovih iglica, potvrđuje hipotezu da uvjeti nakupljanja organske tvari u pedesetogodišnjim kulturama obične smreke ne ograničavaju njihovu pojavu. Oršanić (1994, 1995) ne pronalazi elemente autohtone vegetacije u smrekovoj kulturi na području Medvednice. To se može objasniti povoljnijim svjetlosnim uvjetima na pokusnim plohama, koji su zbog sušenja stabala čak bili i nešto veći od optimalnih za istraživane vrste, Isti autor ističe potrebu detaljnijih istraživanja ulaska i opstanka autohtonih elemenata u kulturi nakon prorjede. Pojava navedenih elemenata vegetacije može biti i pod utjecajem bolje razgradnje organske tvari zbog boljih svjetlosnih i toplinskih uvjeta. Praćenjem vrsta u procesu prirodnog razvoja na istraživanim plohama, nisu utvrđeni negativni utjecaji organskog sloja u takvoj mjeri da se supstitucija trebala obaviti s prijelaznim ili pionirskim vrstama drveća. Za uvjete potpune osvjetljenosti potvrđene su dosadašnje spoznaje jer je kompeticijska sposobnost pionirskih vrsta mnogo veća od klimatogenih. Klimatogene je vrste potrebno uzgojno pomagati ako dođe do većeg otvaranja sklopa kulture. Sve to pokazuje da se njega (čišćenje) obvezno mora obavljati i u tom prirodnom pomlatku.

Kronosekvenca, ili zamjena dugog razdoblja, tzv. „space – for-time substitution“ (SFT) uobičajena je metoda za istraživanje dinamike vegetacije (Molnar i Botta-Dukat, 1998). Dugo razdoblje zamijenjeno je različitim starosnim uzorcima, a ovakav način istraživanja dinamike vegetacije uspješno se primjenjuje u šumarstvu i ekologiji već niz godina. Kronosekvenca je istražena u pojasu hrasta kitnjaka i obične bukve u uvjetima potpune osvjetljenosti, tj. nakon čiste sječe kulture obične smreke. Na pokusnim plohama starosti od 1 do 3 godine utvrđeno je kako se pojavljuju elementi klimatogene zajednice kao što su hrast kitnjak, obični grab i pitomi kesten. Njihov se udjel smanjuje tijekom godina, a povećava se udio heliofilnijih pionirskih vrsta. Pokusne plohe na kojima je kultura obične smreke posječena prije šest i više godina pokazuju

kako dolazi ne samo do potiskivanja klimatogenih nego i prijelaznih vrsta. Naime, kao što se i mnoglo očekivati, ovi se elementi brojčano smanjuju u šestoj, a osobito u četrnaestoj godini te ostaju potisnuti ispod obične breze i topole. Četrnaest godina nakon sječe kulture dolazi do potpune prevlasti obične breze u gornjim slojevima sastojine, obične smreke u visinama do 1 m te smanjenje broja hrasta kitnjaka. Najveća se razlika uočava za gorski javor koji je najbrojnija vrsta u prvoj godini nakon sječe kulture. Ta je vrsta najbrojnija i u trećoj godini, iako se već brojčano smanjuje. Na starijim pokusnim plohama gotovo potpuno nestaje. Hering i Irrgang (2005) istražuju spontani pridolazak šumskih vrsta nakon sušenja kulture obične smreke na velikim površinama u Njemačkoj. U vegetacijskom pojasu obične bukve utvrđuju pojavu breze (*Betula* sp.) i jarebike (*Sorbus aucuparia* L.) na 8 % površine. Obična bukva te gorski javor (*Acer pseudoplatanus* L.) nisu mogli preživjeti u ekstremno teškim uvjetima nakon čistoga sijeka, što se potvrdilo i na pokusnim plohama na ovome lokalitetu. Antolić (2002) pod zastorom kulture stare 81 godinu utvrđuje povećanje gorskog javora u razdoblju od dvije godine. Povećanje gorskog javora rezultat je povoljnijih uvjeta za ovu vrstu.

Sukcesija prirodne vegetacije nije utvrđena samo na lokalitetima na kojima je obavljena supstitucija kultura, već je evidentirana i tijekom pregleda terena u više različitih kultura obične smreke u Republici Hrvatskoj. Na primjer, na području šumarije Vrbovec, u pojasu hrasta kitnjaka i obične bukve (G. j. „Vrbovečke prigorske šume”, odsjek 5b), spontano se u kulturi obične smreke pojavljuju hrast kitnjak, obična bukva, obični grab i divlja trešnja. Starost kulture je 30 godina. Na području šumarije Jastrebarsko u kulturama se spontano pojavljuju obična bukva i obični grab (G. j. „Jastrebarske prigorske šume”, odsjek 9 e, II. dob. razr.) te obični grab (G. j. „Jastrebarske prigorske šume”, odsjek 21 a i 22 e). Na području šumarije Duga Resa pojavljuje se hrast kitnjak (G. j. „Bosiljevo”, odsjek 28 a). U gorskoj Hrvatskoj (UŠP Delnice i UŠP Gospić) u mladim kulturama obične smreke (30 – 50 godina) mjestimično na rubovima ili u progalama pojavljuje se pomladak obične jele, obične bukve i jarebike (G. j. „Sungerski lug”, odjek 17 a i 17 b; G. j. „Sušica”, odsjek 31 a, odjeli 32, 38 i 39) te obične bukve, hrasta kitnjaka, običnoga graba, obične breze, trepetljike, lijeske i vrba (G. j. „Brod na Kupi”, odsjeci 68 a, 68 b, 68 c; G. j. „Skrad – Rudač”, odsjek 1 a, 130 god.).

Rezultati istraživanja nedvojbeno dokazuju kako do pojave klimatogenih vrsta u kulturama obične smreke dolazi u prirodnome procesu razvoja vegetacije, ali sama pojava nije dostatna za supstituciju šumskih kultura. Osnivanjem pokusnih ploha sjetvom i sadnjom klimatogenih vrsta

na različitim lokalitetima utvrđene su stvarne mogućnosti, kao i problemi prilikom primjene pojedinih metoda. U međunarodnim je istraživanjima jasno istaknuto (COST Akcija FP 0703 ECHOES, COST Akcija FP 1202 MAPFGR, COST Akcija FP 1206 EUMIXFOR) kako će jedan od rezultata promjene klimatskih uvjeta neizostavno biti i promjena distribucije vrsta u Europi. O ovome treba voditi brigu pri pošumljavanju i supstituciji šumskih kultura u budućnosti.

### 7.3. Utjecaj supstitucijskih metoda na zalihi šumske prostirke

#### 7.3.1. Zaliha nerazgrađene organske tvari prema pojedinim supstitucijskim metodama

Istraživanje utjecaja različitih supstitucijskih metoda na zalihi i kemizam nerazgrađene organske tvari (O-i i O-e horizont) nužno je zbog više razloga. Šumska je prostirka ključna sastavnica u kruženju hraniva kroz biogeokemijski ciklus. Sastoji se od odbačenih vegetativnih dijelova kao što su lišće/iglice, grančice, kora i stabljike, a nalazi se u različitim stupnjevima razgradnje iznad mineralnog dijela tla prema kojima se izdvajaju pothorizonti (O<sub>i</sub>, O<sub>e</sub>, O<sub>a</sub> ili L – *litter*, F – *fermentum*, H – *humus*). Znatan udio hranidbenih potreba šumskog ekosustava opskrbljuje se razgradnjom organske tvari u šumskoj prostirci i na površini tla (Perković i dr., 2007; Carleti i dr., 2008). S obzirom na to da u kulturama obične smreke ne postoji sloj grmlja, odbačene iglice postaju važan izvor za kruženje hraniva, a pitanje nakupljanja i razgradnje organske tvari odlučujuće za njihovo gospodarenje i supstituciju (Novak i Slodičak, 2004; Slodičak i dr., 2005; Bonifacio i dr., 2007).

Mikrobiološka sukcesija iznimno je važna za razgradnju organske tvari u smrekovim kulturama (Coqteaux i dr., 1995; Hättenschwiler i dr., 2005; Przybył i dr., 2007; Carleti i dr., 2008). Mikrobiološki su procesi regulirani velikim brojem raznolikih uvjeta supstrata i okoliša (Andersson, 2005). Otvaranje sklopa smrekovih kultura uzgojnim zahvatima, zbog promjene mikroklimatskih uvjeta, povoljno utječe i na funkcionalne skupine nematodske zajednice u organskom i mineralnom sloju tla (Salamon i Wolters, 2009). Više vrijednosti pH, južna ekspozicija te manja starost kultura stvaraju uvjete za bolji razvoj mikroorganizama. Južne ekspozicije primaju veće količine Sunčeva zračenja pa su toplije, suše i podložnije brzim promjenama u sezonskoj mikroklimi, što pospješuje mineralizaciju.

Sirovi humus nagomilan zbog većega udjela sporije razgradivih komponenata u iglicama (Harmon i dr., 1990; Torsten i dr., 2004; Andersson, 2005; Sariyildiz i dr., 2005; Mjöfors i dr., 2007) i nepovoljnih mikroklimatskih uvjeta, ima negativni utjecaj kako na rast i razvoj pomlatka (Hallsby, 1994; Carleti i dr., 2008), tako i zdravstveno stanje obične smreke (Hambucker i Remacle, 1991). Godišnji prinos iglica u smrekovim kulturama kreće se od 1500 do 4500 kg ha<sup>-1</sup>, ovisno o uvjetima (Muukkonen i Lehtonen, 2004), pri čemu čak 50 % ukupnoga prinosa organske tvari otpada na korijenje < 1 mm promjera (Kleja i dr., 2007), zbog čega pošumljavanje ovom vrstom znatno utječe na povećanje organske tvari u svim horizontima tla.

Sve gospodarske mjere utječu na obilježja šumske prostirke u pozitivnom ili negativnom pravcu (Martinović, 2003) pa tako i prorjeđivanje šumske kulture. Šumska prostirka nekog staništa određena je težinom (zaliha), dubinom i sadržajem hranjivih tvari. Zaliha i sadržaj hranjivih tvari kriterij su za definiranje šumske prostirke na istraživanim lokalitetima. Ipak, kako osnovni cilj istraživanja nije analiza organske tvari, nego uzgojne metode, uzorci su sakupljeni samo u kulturama na kojima su postavljeni pokusi supstitucije. Ukupna količina organske tvari (u suhome stanju) šumske prostirke kreće se od 79 do 106 tha<sup>-1</sup>, a utvrđeno je povećanje porastom nadmorske visine od pojasa hrasta kitnjaka do pojasa obične bukve i jele. Novak i Slodičak (2004) u približno jednakoj starosti kulture (oko 50 godina) utvrđuju ukupnu količinu u suhome stanju 80 – 100 tha<sup>-1</sup>. Količina nerazgrađene organske tvari povećava se razmjerno povećanju nadmorske visine, od najmanje utvrđenih vrijednosti od 10,5 tha<sup>-1</sup> u pojasu hrasta kitnjaka do 26 tha<sup>-1</sup> u pojasu bukve i jele. Srednje su vrijednosti nešto manje od vrijednosti koje dobivaju Perković i dr. (2007), (17,5 tha<sup>-1</sup> -31,1 tha<sup>-1</sup>) koji iz uzorka izuzimaju grane i češere smreke, iako ne navode promjer grana koje su izuzete. Budući da su ovdje iz uzoraka izbačene grančice, sjeme te svi biljni ostatci ≥ 5 mm, metodologija uzorkovanja može biti izvor razlike, kao i različita metoda laboratorijske obrade (sušenje na 105 °C, za razliku od 55 °C u prethodnoj studiji).

Zbog manjega broja uzoraka nije provedena statistička komparacija količine i kemizma nerazgrađene organske tvari, ali su se utvrdile orijentacijske vrijednosti kako za kulture u pojedinim pojasovima, tako i u različitim razdobljima nakon obavljanja supstitucijskih metoda. Zbog nestabilnosti šumskih kultura nisu se mogle istražiti sve supstitucijske metode u svim vegetacijskim pojasovima pa tako nije analiziran učinak supstitucijskih metoda na zalihi organske tvari između lokaliteta. Usporedba metoda unutar svakoga lokaliteta pokazala je da provedene supstitucijske metode, kojima se otvara sklop kulture, smanjuju zalihi šumske

prostirke te stvaraju povoljne mikroklimatske uvjete za njezinu razgradnju. Prorijeđene kulture, u usporedbi s neproređenim, posjeduju uvjete jačeg Sunčeva zračenja i više vrijednosti temperature, a u uvjetima rjeđega sklopa i veća količina oborina dolazi do tla (Novak, 2010). Uzgojnim zahvatima (prorjedama) potičemo mikrobiološku sukcesiju i ubrzavamo razgradnju (Devereux i dr., 1998; Hannam i dr., 2004; Malek i Grabowski, 2010) te smanjujemo ukupnu zalihi šumske prostirke bez obzira na to o kojim je uvjetima i starostima kultura obične smreke riječ (Novak i Slodičak, 2004, 2006; Slodičak i dr., 2005; Kantor i dr., 2009; Novak i dr., 2009, 2013; Malek i Grabowski). Pozitivno utječemo i na rast stabala, opću stabilnost šumske kulture te smanjujemo ukupnu godišnju masu odbačenih iglica. Nakon prorjeđivanja šumske kulture utvrđena je i negativna ovisnost između godišnje proizvodnje iglica i prirasta temeljnice (Novak i Slodičak, 2004).

U novijim se znanstvenim istraživanjima povećava važnost mikroklimatskih uvjeta na razgradnju organske tvari u smrekovim kulturama, a umanjuje vrijednost kvalitete šumske prostirke (Berger i dr., 2000, 2002; Albers i dr., 2009). Berger i Berger, 2014. (a, b) uspoređuju razgradnju organske tvari u prirodnim uvjetima (kultura obične smreke, sastojina obične bukve i mješovita kultura bukve i smreke) s razgradnjom uzoraka uzetih iz istih kultura u kontroliranim laboratorijskim uvjetima. Utvrđuju da smrekov listinac nije razlog usporene razgradnje, nego su to nepovoljni mikroklimatski uvjeti u kulturi obične smreke. Autori upozoravaju i na to da je transfer hraniva između lišća različitih vrsta izniman, naime, u čak 76 % nema aditivnog učinka prilikom primjese bukova listinca. Razlozi tomu mogu biti različiti (fizičke karakteristike, inhibicija, gljive i mikroorganizmi i sl.). Isti autori utvrđuju kako ne postoji statistički značajna razlika između razgradnje čistog bukova listinca i čistih smrekovih iglica te njihovih smjesa pri istim uvjetima vlage, topline i osvjetljenosti. Povoljan utjecaj supstitucijskih metoda na razgradnju organske tvari šumske prostirke podupire ovakav nalaz te ističe važnost pravodobnih njega kulture tijekom cijele ophodnje. Također, ovakvi rezultati ističu potrebu jasnog definiranja strukturnih parametara istraživanih kultura pri svakoj usporedbi ili analizi šumske prostirke, a to u dostupnim navodima često izostaje.

Uzgojni su zahvati potaknuli najveću promjenu zalihe organske tvari šumske prostirke u vegetacijskom pojasu bukve i jele, gdje je došlo do njezina najvećeg nakupljanja. Ovdje su klimatski uvjeti nešto nepovoljniji za razgradnju od nižih pojasova hrasta kitnjaka i obične bukve. Perković i dr. (2007) navode kako su osobito u humidnijim područjima (nakupljanje sirove forme

humusa) poželjne biološka akumulacija tvari (ascendentna) te biološka aktivacija površinskog dijela tla.

Porijeklo biljnih ostataka u šumskoj prostirci izmijenjeno je na svim lokalitetima u relativno kratkom razdoblju. U vegetacijskom pojasu hrasta kitnjaka postoji razlika u zalih nerazgrađene organske tvari između svih metoda. Međutim, ako se razmotri porijeklo organske tvari, uočava se bitna razlika. U četiri godine nakon potpuna gubitka sklopa (zbog sušenja stabala) gotovo u potpunosti su razgrađene iglice, ali je došlo do nagomilavanja ostataka biljnih dijelova korovske vegetacije koji su velikim dijelom teže razgradivi (npr. kupina). Do smanjenja zalihe organske tvari osam godina nakon jednostavne supstitucije i sadnje hrasta kitnjaka vjerojatno je došlo zbog smanjenja udjela korova te povećanja udjela listinca u uzorcima.

U vegetacijskom pojasu hrasta kitnjaka i obične bukve istražena je zaliha nerazgrađene organske tvari četiri godine nakon provođenja jednostavne supstitucije jer u neposrednoj blizini nije preostalo kultura koje bi poslužile za istraživanje ostalih metoda. Utvrđena je nešto manja zaliha, a razlozi ovakvog nalaza jednaki su kao i za prethodni vegetacijski pojas. U vegetacijskom pojasu bukve i jele postoji razlika u zalih šumske prostirke između metoda, iako je najveća razlika između zalihe u monokulturama te na površinama četiri godine nakon jednostavne supstitucije. Najmanja je razlika utvrđena između zalihe nerazgrađene organske tvari šumske prostirke u mješovitoj kulturi i na plohama četiri godine nakon naprodnog sijeka. Ipak, analiza biljnih ostataka potvrdila je promjenu porijekla biljnih ostataka kao i u ostalim vegetacijskim pojasovima (smanjenje iglica, ali povećanje biljnih ostataka korovske vegetacije).

Statistička usporedba udjela različitih biljnih ostataka (iglice, listinac bjelogoričnih vrsta i korovi, grančice < 5 mm i mahovina) između lokaliteta također nije bila moguća. Ipak, deskriptivnom je statistikom uočen podjednak trend na svim lokalitetima. Udio lišća i korova kultura u pojasu bukve i jele u čiju je analizu ubačena i mješovita kultura utjecao je na dobiveni rezultat. Razlog tomu jest primjesa bjelogoričnih vrsta i pojava prizemne vegetacije. Na svim je lokalitetima podjednaka količina lišća bjelogoričnih vrsta i biljnih ostataka korovske vegetacije četiri godine nakon jednostavne supstitucije. Količina iglica na svim je lokalitetima mnogo je veća od količine na površinama četiri godine nakon jednostavne susptitucije. To upućuje na učinkovitost ove metode u smislu razgradnje, ali i nedostatka u smislu pojave korovske vegetacije. Utvrđeni udio iglica u kulturama od 87 do 92 % veći je od udjela koji pronalaze

Muukkonen i Lehtonen (2004, 73 %) jer u analizu nisu uzimani češeri ni grančice veće od 5 mm u promjeru. Međutim, gotovo je jednak udjelu koji utvrđuju Slodičak i dr. (2005, 83 – 89 %).

Udio je grančica malen (4 – 15 %) i podjednakih vrijednosti na svim lokalitetima i pri svim metodama. To može upućivati i na sporiju razgradnju grančica (dulje od četiri godine), ali i na prinos novih grančica od korovske vegetacije. Udio grančica u kulturama iznosi 6 – 15 %, a podjednaku količinu grančica u šumskoj prostirci kultura u različitim klimatskim uvjetima (6 – 13 %) utvrđuju Muukkonen i Lehtonen (2004) te Malek i Grabowski (2010).

Na svim je lokalitetima utvrđen niski udio mahovine (do 3,1 %), iako su one karakteristične za acidofilne uvjete u kulturama obične smreke (Gärtner i Reif, 2005). U povoljnijim uvjetima mješovitih kultura njihovo se udjel smanjuje, a one ionako nemaju znatniji utjecaj na stanje hraniva u tlu ako se usporede s utjecajem listinca (Burke, 2001).

U pojasu hrasta kitnjaka može se uočiti razlika u udjelima organskih ostataka korova i lišća između svih metoda. Udio ostataka korova i listinca ukulturi obične smreke i u progalama su podjednaki, dok je količina iglica smanjena u progalama. Sporija razgradnja iglica u progalama može biti rezultat većega prinosa iglica zbog napada potkornjaka u usporedbi s uvjetima ispod sklopljene kulture, što može biti bitno (Hambucker i Remacle, 1991). Kovářová i Vacek (2003) u planinskoj smrekovoj sastojini, tijekom kalemiteta potkornjaka, mjere u samo nekoliko mjeseci prinos od ukupno 18 do 20  $\text{tha}^{-1}$ . Iako su stvoreni uvjeti za bolju razgradnju, povećanje količine može utjecati na relativno mala odstupanja od uvjeta u sklopljenoj kulturi. Odbačene iglice zbog napada potkornjaka imaju velik udio fenolitičkih tvari, što uzrokuje niz alelopatskih utjecaja na autohtone gljive i mikroorganizme te tako negativno utječu na razgradnju (Przybył i dr., 2007; Koukol i dr., 2008). Svježije otpale iglice teže se razgrađuju od prirodno otpalih iglica pa se tako gljiva *Setulipes androsaceus*, koja se smatra ključnim razlagačem u smrekovim kulturama, ne može na njima pojaviti (Prescott, 2005).

Randomizirani blok-dizajn pokusa na nagnutom terenu u kulturama odabran je kako bi se obuhvatile eventualne promjene zbog premještanja nerazgrađene organske tvari. Međutim, analizom uzoraka to nije utvrđeno, što potvrđuju Bruckner i dr. (1999), koji ističu da su smrekove iglice teško prenosive vjetrom i vodom.

### 7.3.2. Kemijska analiza nerazgrađene organske tvari prema pojedinim supstitucijskim metodama

Promjena kemijskih elemenata u organskoj tvari šumske prostirke napravljena je za sve lokalitete i metode. Deskriptivnom statistikom na svim je lokalitetima utvrđena najveća količina ugljika (C, g/kg) u kulturama prije sječe te njegovo smanjenje nakon zahvata. Smanjenje ugljika ima pravilan trend pada s povećanjem svjetlosnih uvjeta i vremena protekloga od sječe. Vrijednosti dušika (N, g/kg) smanjuju na lokalitetima u pojasu hrasta kitnjaka i obične bukve na plohama jednostavne supstitucije, što se osobito uočava osam godina nakon zahvata. Ovakav trend upućuje na još jedan od rizika jednostavne supstitucije, a to je opasnost od brzog otpuštanja dušika (Adams i dr. 2000, Cannell i Thornley 2001, Berger i dr. 2000, 2002). Ipak, vrijednosti su dušika neznatno porasle na plohama supstitucije pod zastorom u pojasu bukve i jele. To upućuje na povećanu razgradnju organske tvari, pri čemu nije došlo do ispiranja dušika. Na spomenutim plohama nije utvrđena ni značajna promjena količine organske tvari u usporedbi s početnim stanjem šumske prostirke.

Može se zaključiti da postoji povoljan utjecaj istraženih metoda na zalihu šumske prostirke i zalihu ukupnog ugljika i dušika, pri čemu jednostavna supstitucija i u ovome pogledu nosi najveći rizik (brzo otpuštanje i ispiranje hraniva). U međunarodnim istraživanjima ova problematika još nije dovoljno istražena (Novak i dr., 2010). Glavnina studija usmjerena je na usporedbu šumske prostirke u čistim i mješovitim kulturama sa svrhom utvrđivanja optimalne uzgojne strategije kojoj je prije svega prioritet proizvodnja drveta i ekonomska dobit. S druge strane, za hrvatsko je šumarstvo važno istraživanje supstitucijskih metoda s najmanjim ekološkim rizicima jer se kulture obične smreke prije svega upotrebljavaju kako bi meliorirale tlo za klimatogene vrste koje su gospodarski i ekološki potencijal određenog područja.

### 7.3.3. Svojstva tla u zoni zakorjenjivanja šumskih sadnica

Reakcija tla (pH), odnosno protonska aktivnost, određuje mnoge kemijske i biološke procese u tlu. Najpovoljnija reakcija tla (pH H<sub>2</sub>O) za rast biljaka i drveća iznosi između 5 i 7, kada su mikrobiološka aktivnost i pristupačnost hranivima optimalni. Najpovoljnija reakcija za bjelogorično drveće (Pritchett i Fisher, 1987) jest između pH 5,8 i 6,2, a za crnogoricu pH



između 5,2 i 6,2. Korijenje drveća može podnositi i izrazito visoku kiselost, odnosno pH-vrijednosti oko 4. Ograničavajući čimbenik za rast biljaka kod niskih pH-vrijednosti jesu toksični metali kao što su aluminij i mangan, koji se oslobađaju u otopinu tla. U tlima u kojima su male zalihe hraniva fosfora, kalcija, magnezija i kalija, niska reakcija tla može uzrokovati nedostatak jednog od navedenih esencijalnih elemenata. S biljno-fiziološkog gledišta, za promatranje je potrebno uzeti pH-vrijednosti utvrđene u n-KCl zato što za biljke nisu štetni samo slobodni H-ioni već i dio H-iona vezan u adsorpcijskom kompleksu (Škorić, 1982). Reakcija tla u istraživanim kulturama ne razlikuje se od vrijednosti istih tipova tala pod prirodnim sastojinama u Republici Hrvatskoj na dubinama od 15 i 30 cm. Ipak, utvrđena je jako kisela reakcija A-horizonta (0 – 5 cm), što potvrđuju i drugi autori (Priha i dr., 1999; Berger i dr., 2004; Perković i dr., 2007; Barszcz i Malek, 2008).

Sadržaj organskog ugljika kod organskih horizonata šumskih tala nalazi se u rasponu od 200 do 500 g/kg, što u postotnim odnosima iznosi između 40 i 100 %. Humus je krajnji stadij razlaganja organske tvari u kojoj dominiraju stabilne komponente. Dušik je hranivo koje utječe na rast biljaka, a stoga i na fiksaciju i kruženje ugljika u ekosustavima. U tlu se nalazi u nitratnom i amonijskom obliku, a najviše ga ima u biljnim i životinjskim ostacima odnosno u humusnom ili organskom horizontu. Dušik u tlu je u izravnoj vezi sa sadržajem organske tvari, i to u vrlo visokoj korelaciji. Ukupna količina dušika u tlu ovisi o uspostavi ravnoteže između proizvodnje listinca, s jedne, te njegove razgradnje, s druge strane. Odnos dušika i ugljika upućuje na dobre uvjete za daljnju razgradnju organske tvari u tlu, ali i dobar rast biljaka (Harmon i dr., 1990; Mjölfors i dr., 2007). Odnos C/N kod šumskih tala u Europi u mineralnim je horizontima između 10 i 30, pri čemu se 24 smatra kritičnom vrijednosti za crnogoricu glede razgradnje organske tvari (Fabianek i dr., 2009). Cools i dr. (2014) ispitivanjem 4000 uzoraka utvrđuju da kompozicija vrsta ima najveći utjecaj na promjenu C/N odnosa mineralnog dijela tla. Znatne su promjene utvrđene u površinskom sloju do 10 cm dubine, što objašnjava izostanak značajnih razlika u uzorcima iz većih dubina tla i u ovome istraživanju. Dobivene vrijednosti ipak upućuju na mogućnost većeg ispiranja dušika, što je utvrđeno i istraživanjem Barszcza i Maleka (2008).

Ovi su razlozi dokaz važnosti istraživanih elemenata za uspjeh klimatogenih vrsta, a provedena usporedba osnovnih elemenata u tlu s njihovim vrijednostima za iste tipove tala u Republici Hrvatskoj u prirodnim sastojinama (Martinović, 2003) pokazuju da kulture obične smreke tijekom pedeset godina nisu uzrokovale znatnu promjenu u mineralnom dijelu tla.

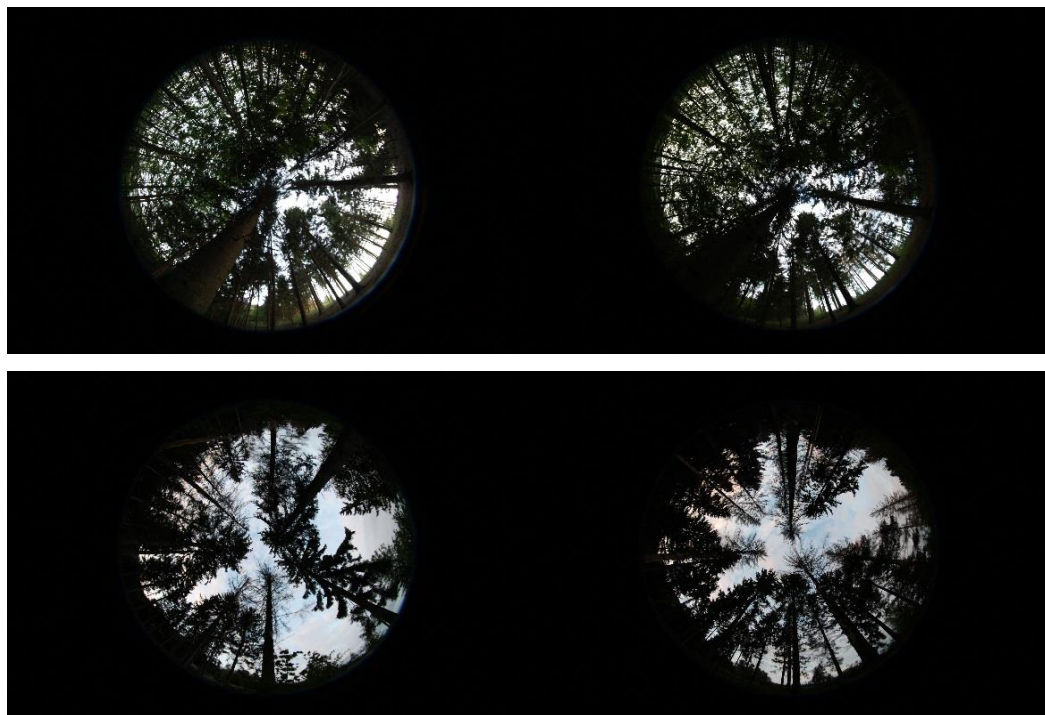
Uzorkovanje tla obuhvaća reakciju tla u vodi i KCl, humus, ukupni dušik i odnos C/N na dubinama mineralnog dijela tla od 15 i 30 cm. Dobivene se vrijednosti statistički značajno ne razlikuju od prosječnih vrijednosti za odgovarajuće tipove tala u Republici Hrvatskoj pod prirodnim sastojinama. Perković i dr. (2007) utvrđuju nešto nepovoljniji odnos C/N i povećanje C analizirajući gornjih 5 cm tla. Razlog utvrđenim razlikama između analiziranih uzoraka i rezultata istraživanja Perkovića i dr. (2007) jest veća dubina uzorkovanja. Takva dubina uzorkovanja odabrana je zato što se upravo ovdje razvija korijenov sustav mladog naraštaja. Ovakva je usporedba potvrda da obična smreka nije negativno utjecala na mineralni dio tla dublji od 5 cm, tj. najznačajniji dio za zakorovljivanje mladog naraštaja klimatogenih vrsta (do 30 cm dubine).

Tekstura tala pri umjetnoj obnovi, osobito u uvjetima jačeg ispiranja hraniva, ima znatan utjecaj na preživljenje i rast biljaka (Wilde, 1958). Analiza mehaničkog sastava tala u zoni zakorovljivanja upućuje na uglavnom povoljnu teksturu (pjeskovita ilovača, ilovasti pijesak) s iznimkom lokaliteta „Gornja Kupčina“, gdje je tlo nepovoljno zbog slabije zračnosti.

#### 7.4. Svjetlosni uvjeti tijekom supstitucije

Svjetlosni su uvjeti jedan od najvažnijih čimbenika koji utječu na preživljenje i uspjeh sadnica nakon sadnje, osobito u slučaju obične bukve i obične jele koje imaju relativno male zahtjeve za svjetlom (Halle, 2001; Matić, 1984, 2001; Matić i dr., 2003. B; Ammer, 2003; Wagner i dr., 2009). Zastor mora osigurati dovoljnu količinu svjetla za nesmetan razvoj pomlatka koja će istodobno ograničiti pojavu korova te potaknuti razgradnju organske tvari. Snimanje i analiza svjetlosnih uvjeta u kulturi na lokalitetu „Bistranska gora“ doprinos je početnim spoznajama o prikupljanju i analizi hemisfernih fotografija te primjeni specijalističkoga računalnog programa GLA (*Gap Light Analyser*) (Frazer i dr., 1999). Hemisferne fotografije snimljene širokokutnom lećom (180°, tzv. *fish-eye* leća) primjenjuju se u šumarskim istraživanjima kako bi se procijenila veličina otvorenosti sklopa te količina i kvaliteta svjetla koje dopire do elemenata obnove, tj. mladog naraštaja (Liefers i dr., 1999; Hale, 2001; Jelaska i Križaj, 2003; Ostrogović i dr., 2010). Osnovni karakter svjetlosnih uvjeta jest velika prostorna i vremenska heterogenost, koja ovisi o vrsti, položaju i veličini otvora u krošnjama te o kutu Sunčeva zračenja (Hardy i dr., 2004). Heterogenost je nešto manja u kulturama obične smreke, a

obuhvaćena je snimanjem na trajnim točkama koje čine sjecište dijagonala ploha veličine 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m). Gubitak sklopa zbog napada potkornjaka onemogućio je detaljniju analizu ovisnosti razvoja biljaka o optimalnim uvjetima osvjetljenosti nakon napludnog sijeka. Negativan utjecaj zakorovljenja dominantan je te prisutan na pokusnim plohama već godinu dana nakon sječe (prosječna godišnja vrijednost ukupnoga užitog svjetla 15%), iako je najveći gubitak sklopa kulture ograničen uglavnom na posljednju fazu istraživanja (prosječna godišnja vrijednost ukupnoga užitog svjetla 25 %) (slika 7.2.). Gubitak sklopa na pojedinim pokusnim plohama bio je mnogo veći od prosječnih vrijednosti te iznosi do 42 %. Ovo upućuju na pogoršanje svjetlosnih uvjeta za običnu jelu, ne samo za vrijednosti prosječne godišnje količine ukupnoga svjetla nego za prosječne godišnje vrijednosti relativnoga difuznog i izravnog svjetla. Iako se smatra kako je za običnu bukvu i običnu jelu optimalna relativna količina svjetla od 7 do 15 %, obična bukva može dobro uspijevati i u rasponu svjetlosnih uvjeta od 4 do čak 50 % (Kazda i dr., 2000).



**Slika 7.2.** Otvaranje sklopa zbog sušenja krošanja (2011. godina /gore/, 2013. godina /dolje/)

Hemisferne su fotografije snimane u difuznim svjetlosnim uvjetima kako bi se izbjegla refleksija (Guevara-Escobar i dr., 2005). Visina snimanja od 1,30 m od tla odabrana je kako bi se obuhvatili svjetlosni uvjeti za sve biljke (biljke različitih starosti i visina na svim pokusnim

plohama sadnje, sjetve te sukcesije). Ovom se visinom snimanja isključio utjecaj prizemne vegetacije te su se na taj način opisali samo svjetlosni uvjeti koji prolaze kroz krošnje. Sloj višega grmlja u kulturama obične smreke nije razvijen te nije imao utjecaj na snimljene fotografije. Ipak, kako je riječ o mješovitoj kulturi s primjesom bjelogoričnih vrsta oko 5 %, na jednoj pokusnoj plohi evidentiran je pozitivan utjecaj stabala podstojne etaže. Kako bi se pri klasifikaciji piksela u kategorije „nebo“ i „krošnja“ (eng. *thresholding*) izbjegla subjektivnost, rabljena je automatska opcija koju preporučuju Nobis i Hunziker (2005), Jonckheere i dr. (2005), Jarčuška (2008), Jarčuška i dr. (2010). Opcija automatskog podešenja vremena ekspozicije tijekom snimanja može rezultirati precjenjivanjem vrijednosti (Jarčuška, 2008; Zhang i dr., 2005), a to se izbjeglo tako da se prije snimanja utvrdila vrijednost referentnoga svjetla čistog neba s pomoću svjetlomjera ugrađena u kameri. Snimanje u zatvorenom sklopu obavlja se s dva koraka većom ekspozicijom kako bi se povećao kontrast. Prije obrade fotografija u računalni su program su uneseni svi potrebni podatci opisa lokacije (koordinate, usmjerenje slike, visina, ekspozicija, inklinacija, traženi vremenski koraci itd.).

#### **7.5. Usporedba supstitucijskih metoda (supstitucija pod zastorom, u progalama, jednostavna supstitucija)**

Supstitucija po principima umjetnog pomlađivanja metoda je koja osigurava brz način zamjene kulture obične smreke ciljanim vrstama drveća. To se može vidjeti iz podataka o visinama obične bukve i hrasta kitnjaka već četvrte godine nakon početka supstitucije. Brzina je zamjene kulture važna zbog brzog zakorovljenja i pogoršanja mikroklimatskih uvjeta u slučaju gubitka zastora šumske kulture. Kako su predviđanja klimatskih promjena te znatno povećanje olujnih nevremena uzrok sve učestalijim štetama, kako u šumskim kulturama tako i u prirodnim sastojinama, brza zamjena generacija poprima sve veću važnost. Umjetno pomlađivanje obuhvaća upotrebu sjemena i sadnica, a prednosti i nedostaci svakog načina istraženi su po pojedinim vegetacijskim pojasovima.

Uspjeh supstitucijskih metoda utvrđen je detaljnom metodologijom izmjere osnovnih elemenata umjetne obnove (ponik, pomladak, mladik). Izmjera označenih individua umjetne obnove u pravilnim vremenskim intervalima (godina) mnogo je točniji način utvrđivanja uspjeha od analize srednjih vrijednosti navedenih pokazatelja po pokusnim plohama (Sterba, 2005).

Mjereni su svi pokazatelji rasta (preživljenje, visina, promjer, tečajni godišnji visinski i debljinski prirast te na nekim plohama i duljina biljke) jer je procjena točnija što je broj mjerenih parametara veći. Utvrđeno je kako je metoda pod zastorom krošanja optimalna i najvažnija za supstituciju u Republici Hrvatskoj s obzirom na biologiju ciljanih vrsta (hrast kitnjak, obična bukva, obična jela). Dosadašnje spoznaje kako ova metoda nedvojbeno osigurava najbolje uvjete za smjenu naraštaja potvrđene su na svim lokalitetima. Naime, iako je zbog nestabilnosti šumskih kultura ova metoda istražena samo u vegetacijskom pojasu bukve i jele, štete od mraza, glodavaca te intenzivna pojava korova na pokusnim plohama na kojima je istražena metoda jednostavne supstitucije potvrđuju ovakav zaključak. Razmjeri primjene ovoga tipa supstitucije znatno se razlikuju između pojedinih europskih zemalja. Njemačka već više od desetljeća primjenjuje ovu metodu, dok zemlje kao što su Danska, Francuska, Velika Britanija, Švedska i Slovačka imaju malo ili uopće nemaju praktičnog iskustva.

Preživljenje biljaka svih vrsta drveća i vrsta šumskoga reprodukcijuskog materijala na pokusnim plohama pod zastorom krošanja najviše je od svih promatranih metoda. Ipak, zbog dobro provedene njege pomlatka kojom je umanjena kompeticija s korovskom vegetacijom te u kojima nije bilo šteta od abiotskih čimbenika, visinski i debljinski prirast te dimenzije obične bukve na plohama jednostavne supstitucije mnogo su veće od biljaka na plohama pod zastorom ili na progalama. Iako nije izmjerena kvaliteta obične bukve, okularnom je procjenom utvrđena lošija kvaliteta biljaka u metodi jednostavna supstitucija od biljaka na pokusnim plohama pod zastorom. Ovakva su istraživanja planirana u budućnosti kao dopuna postojećih rezultata. Sadnja pod zastor promovira razvoj dobro oblikovanog pomlatka (s obzirom na stupanj granatosti i pravnosti) zbog reduciranih uvjeta intenziteta i promijenjene kvalitete svjetlosti (prema Weihs i Klaene, 2000; Ammer 2000, 2003, preuzeto od Lupke i dr., 2004). Sadnja u uvjetima potpune osvjetljenosti može uzrokovati znatno umanjeње kvalitete mladika (Prevosto i Balandier, 2007).

Njega pomlatka i mladika obavljena je na svim lokalitetima, a ona je nužna jer nijedan od ciljeva gospodarenja ne nastaje spontano te se pomlađena sastojina ne smije prepustiti isključivo spontanim prirodnim procesima (Matić i dr., 2003. a). Njegovom usmjerujemo razvoj sastojine sukladno prirodnim zakonitostima optimalno se koristeći stanišnim uvjetima, biološkim svojstvima i ekološkim zahtjevima vrsta. Žetva korova obavljena je na pokusnim plohama jednostavne supstitucije i na progalama te u posljednjoj fazi istraživanja na dijelu pokusnih ploha pod zastorom krošanja zbog sušenja smrekovih stabala. U nekim se istraživanjima utjecaj

korovske vegetacije utvrđuje s pomoću njezine biomase (Löf i Birkedal, 2009). Za utvrđivanje dostupnosti resursa (voda, hraniva, svjetlost, toplina) u istraživanju je odabrana procjena pokrovnosti korova te osunčanost krošanja. Utjecaj prizemne vegetacije u slučaju jednostavne supstitucije može biti i povoljan ako se promatra potpuno golo tlo. Prirodna vegetacija može zaštititi pomladak od temperaturnih ekstrema (mraz i sunčožar) i vjetra djelujući poput svojevrsne toplinske izolacije (Ball i dr., 2002; Balisky i Burton, 1993). Postoje izvještaji o povećanju temperature za 1 do 5 °C na dubini tla do 15 cm nakon potpuna uklanjanja korova (Cole i dr., 2003). Utjecaj mraza na pomladak zabilježen je na površinama s niskom pokrovnosti korova. Na pokusnim objektima nije potpuno uklanjana prizemna vegetacija, nego je cilj bio iskoristiti njezina povoljna svojstva, pri čemu se osigurala prednost klimatogenim vrstama. Ovo se ne odnosi na vrste iz roda *Rubus*. Naime, zabilježen je godišnji prirast ove vrste veći i od 2 m, što potpuno onemogućuje rast klimatogenih vrsta. Na pokusnim plohama na lokalitetu „Doljani“ prevladavajuća je vrsta bila *Epimedium alpinum*. Ta je vrsta već u prvoj godini nakon sječe potpuno prekrivala tlo, ali je bila niža od posađenih sadnica.

Istraživanje uspjeha biljaka nakon sanitarnog sijeka po principima jednostavne supstitucije postavljeno je unatoč već poznatim nedostacima ove metode zbog teškoća pri osiguravanju zastora kulture. Svrha je bila istražiti uzgojne mogućnosti u slučajevima kada je nemoguće zadržati cjelovitost sklopa, za što se predviđa da će biti sve učestaliji slučaj ne samo u šumskim kulturama nego i u prirodnim sastojinama zbog klimatskih promjena (Spittlehouse i Stewart, 2003). U skladu sa očekivanjima, ova je metoda pokazala lošiji uspjeh od metode pod zastorom stabala ili sadnje u progalama. Naime, na svim su lokalitetima utvrđene znatne štete od biotskih i abiotskih čimbenika, što je njezin glavni nedostatak. Najveći problemi i nedostaci kod primjene ove metode jesu štete na mladom naraštaju od kasnih proljetnih mrazova, sunčožara, snažne kompeticije korovne vegetacije te štete od glodavaca i divljači (Matić i dr., 2001, 2003. b). Na nekim je područjima moguće i podizanje razine vode u tlu. Unatoč bržoj razgradnji organske tvari koja je jedan od glavnih problema u kulturama obične smreke, utvrđeno je i brže otpuštanje hraniva. Ovo je najučestalija metoda u europskim zemljama zato što kulture obične smreke imaju visoki rizik od šteta što ih uzrokuju oluje, vjetroolomi i vjetroizvale. Te se kulture smatraju hitnim za supstituciju ili su već toliko oštećene da ne omogućuju ni jedan drugi način supstitucije. To se odnosi na zemlje u kojima su učestalije oluje kao što su Danska, Velika Britanija, južna Švedska

te u manjoj mjeri i Austrija, Francuska i Njemačka, a gotovo je neizbježno u pojasu hrasta kitnjaka. Ovdje Lüpke i dr. (2004) pronalaze zadovoljavajući uspjeh ove metode.

Jednostavna supstitucija i metoda na progalama, kojima se brzo otvara sklop, neprikladne su metode i zbog toga što kulture obične smreke stvaraju uvjete koji pogoduju „banci sjemena” trajnijih i otpornijih korova u tlu (*Rubus* sp.). Pojava korova ovisi o svjetlosnim uvjetima te je jedan od glavnih nedostataka metode jednostavne supstitucije. Berger i dr. (2004. a) utvrđuju da zalihe ne ovise o nadstojnoj kulturi, nego o dostupnosti svjetla koje je najvažniji sastojinski čimbenik. Naime, najviše sjemena otpornih korova (npr. *Rubus* sp.) pronalaze u prvih 10 cm tla, pri čemu živih sjemenki ima i do dubine od 35 cm.

Supstitucija klimatogenim vrstama pod zastorom kulture obične smreke izvodi se čak deset do dvadeset godina prije provođenja dovršnog sijeka u europskim primjerima supstitucije. S obzirom na brzi rast pomlatka obične smreke u uvjetima potpune osvjetljenosti ova metoda osigurava dostatnu prednost vrstama sporijeg rasta. U istraženim kulturama nije bilo dovoljno ciljanih vrsta u omjeru smjese šumske kulture čije bi se sjeme iskoristilo kao pomoć umjetnoj obnovi. Ipak, takva biološka i ekonomska racionalizacija korištenjem prirodnom obnovom moguća je ako postoje pojedinačna stabla ciljanih vrsta, dobre reproduksijske sposobnosti, dovoljnoga broja te optimalnog rasporeda u kulturi (Dobrovolny i Tesar, 2010. a, 2010. b).

Načini otvaranja sklopa kultura obične smreke mogu se klasificirati prema njihovu zastoru i njegovoj sličnosti s idealnom strukturom zastora tijekom umjetnog pomlađivanja, što opet ovisi i o zahtjevima za svjetlom ciljanih vrsta. U europskim se zemljama kulture sijeku na razne načine (Sterba i Zingg, 2001), a temeljnica kultura u kojima se obavlja supstitucija varira od < 20 do > 50 m<sup>2</sup> (Kazda, 2005. a). Ako poredamo zahvate u skopu, počevši od onih koje osiguravaju najmanju zaštitu i zaklon mladom naraštaju, tada se na prvom mjestu nalaze sječe u prugama i grupama, nakon kojih slijede prorjede prema promjeru. Prorjeđivanjem sklopa pažljivim odabiranjem stabala dobiva se najbolja zasjena i zaštita tla i biljaka te optimalan zastor. Sječe su poredane i prema količini svjetla koja se želi propustiti kroz zastor do šumskog tla, a odabir metode omogućuje i reguliranje omjera smjese buduće kulture.

Na lokalitetima su odabrane klimatogene vrste, obična bukva i obična jela, jer laboratorijskom analizom nije utvrđena degradacija tla ili znatno pogoršanje kemizma organske prostirke, zbog čega bi se morale odabrati vrste nižih sukcesijskih stadija. Obavljen je naplodni sijek po principima oplodnih sječa tijekom prirodne obnove, jer je to optimalan način za

postizanje odgovarajućih svjetlosnih uvjeta. Na istome lokalitetu, zbog sušenja grupa stabala uzrokovana potkornjakom, iskorištene su nastale progale kako bi se utvrdio uspjeh sadnje i u takvim uvjetima. Odabrana je bila obična bukva različite starosti sadnica, a uspjeh preživljenja i rasta pomlatka u ovoj metodi nalazi se između uspjeha po metodi pod zastorom i metodi jednostavne supstitucije. Razdoblje istraživanja bilo je kraće od istraživanja ostalih metoda te je za ovu metodu postignut uspjeh samo u prvoj godini nakon sadnje. Ovakva se situacija često događa zbog šteta u kulturama gdje je potrebno procijeniti rizike staništa i kulture te prema njima odabrati optimalnu ciljanu vrstu (klimatogenu vrstu ili bjelogorične pionirske vrste s meliorativnom ulogom).

Zbog posebnosti kultura obične smreke, supstitucija pod zastorom ima i specifične nedostatke koji nisu prisutni kod oplodnih sječa tijekom prirodne obnove sastojina. Naime, ovdje postoji problem zadržavanja sklopa zbog slabe stabilnosti kultura, snažne regeneracije obične smreke koja znači kompeticiju mladom naraštaju te izrazite međuvrsne kompeticije korijenova sustava.

Treba naglasiti kako je istraživanje postavljeno u kulturama u kojima se pojavila potreba za supstitucijom i prije kraja ophodnje. Ovo su problematični slučajevi, što je izmjerama strukturnih parametara te dobivenim iznimno nepovoljnim vrijednostima i dokazano. U ovome trenutku nema dovoljno spoznaja na osnovi kojih bi se potpuno mogli predvidjeti svi negativni utjecaji i razmjeri šteta koje klimatske promjene donose. Metoda jednostavne supstitucije sadnjom vrsta nižih sukcesijskih stadija jedini je izbor u mogućim nestabilnim kulturama. Njihovo prorjeđivanje (poput kultura na istraživanim lokalitetima „Bistranska gora“, „Doljani“ i „Gornja Kupčina“) sadržava visok rizik za stabilnost preostalih stabala (Kazda, 2005). Samo stabilne kulture imaju visok potencijal supstitucije pod zastorom, a, ako se u obzir uzmu karakteristike klimatogenih vrsta, onda će visoka stabilnost kulture uvjetovati i mogućnost supstitucije klimatogenim vrstama. Prema šumskouzgojnim načelima, u takvim se slučajevima preporučuje sadnja nove generacije meliorativne kulture koja će popraviti uvjete. Dobar su izbor mješovite kulture obične smreke i bjelogoričnih vrsta.

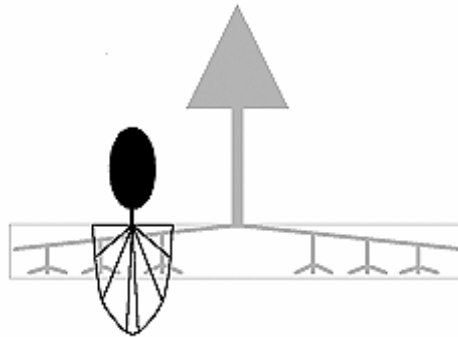
Visoka produktivnost obične smreke razlog je što su brojnim supstitucijama u zemljama srednje Europe u kojima su kulture zamijenjene mješovitim kulturama obične smreke i bjelogoričnih vrsta drveća, a tek u manjem dijelu u potpunosti kulturama klimatogenih šumskih vrsta. Najčešće su mješovite kulture obične smreke i obične bukve. Gusta prirodna obnova obične



smreke u ovim se slučajevima primjenjuje u kombinaciji s unošenjem šumskoga reprodukcijskog materijala obične bukve. Evidentirani su primjeri mješovitih kultura i plemenitih bjelogoričnih vrsta (Di Placido, 2002; Di Placido i dr., 2002, preuzeto od Lüpkea i dr., 2004). Naime, supstitucijski cilj može biti i čista sastojina bjelogoričnih vrsta na kraju ophodnje (od 55 do 80 godine), pri čemu se obična smreka uporabljuje kao kultura koja potiče rast i dobre osobine mlade sastojine, a uklanja se ranim prorjedama. U početnim stadijima obična smreka osigurava prirodni zaklon i ograničava nepoželjnu pojavu grananja i deformacija na bjelogoričnim vrstama. Postignuti su dobri rezultati kod vrsta *Prunus avium* i *Acer pseudoplatanus*. Kada bjelogorične vrste dođu u stadij čišćenja od grana i razviju oko 6 metara visoko deblo bez grana (otprilike 20 godina nakon sadnje), obična se smreka uklanja. Ova metoda rezultira visokom kvalitetom kulture plemenitih bjelogoričnih vrsta, pri čemu smanjuje potrebu za umjetnim uklanjanjem grana (eng. *pruning*). Međutim, ako je cilj tzv. potpuna supstitucija, tj. potpuna zamjena jedne vrste u kulturi s drugom, osobito ako je riječ o klimatogenim vrstama manjih zahtjeva za svjetlom od obične smreke, osobitu pozornost treba pokloniti zadržavanju sklopa.

Kod supstitucijske metode pod zastorom krošanja utvrđeno je da preživjele biljke nisu stohastički raspoređene na ispitivanoj površini, nego je njihov raspored uglavnom povezan s pretjerano otvorenim sklopom, tj. pojavom korova te blizinom stabla obične smreke. To upućuje na dodatne čimbenike u kulturama ove vrste koji utječu na klijanje i uspjeh biljaka. Jedan od razloga može biti međuvrsna kompeticija korijenova sustava (slika 7.3.) (Ammer i dr., 2002). Stabla koja tvore zastor utječu na rast mladog naraštaja tako što kontroliraju resurse iznad tla (uglavnom svjetlo) te u isto vrijeme i uvjete u tlu kroz kompeticiju korijenja (Ammer 2002.). Najveći udio sitnog korijenja (< 2 mm promjera), koji utječe na visinski i debljinski prirast klimatogenih vrsta, koncentriran je u humusnom dijelu (više od 45 %) te u gornjih 5 cm mineralnog dijela tla (oko 15 % korjenja) (Berger i Hager, 2000; Schmid i Kazda, 2000, Kazda, 2005. a; Ammer, 2006; Pertrain i dr., 2011). Sitnog smrekova korijenja ispod 40 cm dubine ima vrlo malo, a biomasa se povećava s temeljnicom kulture te opada s udaljenošću od najbližega stabla smreke. Suprotno smreci, obična bukva ima korijenov sustav raspoređen u veće dubine, pri čemu korijenje sadnice brzo nakon sadnje doseže i do 1 m dubine (slika 7.3.). Jaka kompeticija u tlu između smreke i bukve može nastati uglavnom u prvim godinama nakon presadnje, kada bukov pomladak ovisi o gornjim slojevima tla. Sporiji rast obične jele znači da će kompeticija duže trajati, a time su i uvjeti za bolje preživljenje i rast ove vrste slabiji. Međuvrsna kompeticija,

neobložen korijen pri sadnji, male dimenzije sadnica (starosti 1 + 0) te nepovoljni svjetlosni uvjeti razlozi su lošeg uspjeha obične jele sađene pod zastorom. Utvrđeno je i kako je svjetlo prevladavajući čimbenik u dvogodišnjem praćenju uspjeha obične bukve, što potvrđuju i Pertrain i dr. (2011).



**Slika 7.3.** Obična smreka iz zastora (sivo) s podsadenom sadnicom obične bukve (crno)  
(Izvor: Kazda, 2005. a)

S obzirom na to da smrekova stabla imaju veću dubinu korijenja u blizini debla, važno je osigurati određeni odmak između posađenih bukovih sadnica i odraslih smrekovih stabala. Iznimno je važno uzeti u obzir i moguće deformiranje bukova korijenja. Deformacija korijenja smanjuje mogućnost dubljega prodiranja u tlo i narušava kompetitivnu sposobnost bukovih stabala. Može rezultirati smanjenom stabilnošću takvih sastojina u kasnijim razvojnim fazama. U nekim se studijama preporučuje izbjegavanje umjetne regeneracije u blizini smrekovih stabala, od 4 do čak 15 m (Müller i Wagner, 2002; Ammer i dr., 2002; Müller i Wagner, 2003). Ovo je dodatni razlog osnivanja mješovitih kultura obične smreke i bjelogoričnih vrsta pa su bolja opcija pripreme staništa za supstituciju u klimatogene vrste u slučaju visokih supstitucijskih rizika. Dobro prorjeđivana kultura, osim povoljnog utjecaja na razgradnju organske tvari i kruženje hraniva te stabinost kulture u trenutku supstitucije, može umanjiti i kompeticiju između biljaka iz sjemena i stabala koja tvore zastor (Ammer i dr., 2002). Iz ovoga se može zaključiti kako je pravilna njega prorjedom važna za ispunjavanje meliorativne uloge kultura obične smreke.

Iako je zaštita pomlatka hrasta kitnjaka od pepelnice svakim danom sve veća nužnost i nezaobilazna mjera zaštite (Matić, 1996), na pokusnim plohama ona nije provedena. Naime, pojava pepelnice utvrđena je samo na lokalitetu „Gornja Kupčina”, i to na pojedinim biljkama.

Može se zaključiti kako pepelnica nije imala znatan utjecaj na rezultate istraživanja te nije zasebno razmatrana niti uspoređivana između lokaliteta.

Unatoč činjenici da priprema staništa ima pozitivan utjecaj na rast i razvoj biljaka (Nordborg, 2001), još nije jasno koje metode pripreme staništa pogoduju rastu, a koje ne (Cole i dr., 2003). Bez obzira na metodu supstitucije u istraživanju su ispitane samo mehaničke metode, jer su ekološki utjecaj i učinkovitost kemijskih metoda upitni (ispiranje u vodotoke). Unatoč znatnom povećanju pH-vrijednosti, više znanstvenih studija utvrđuje da nema utjecaja vapna, ili ono utječe negativno, na rast ponika i pomlatka te odumiranje korijena i do 18 godina nakon tretiranja (Schmidt i Colinet, 1964; Ljungström i dr., 1990; Lehto i Mälkönen, 1994; Lehto, 1994. a, 1994. b, 1995; Küssner and Wickel, 1998; Ammer i dr., 2000, 2002; Formanek i Vranova, 2002). Promjene zbog ovakve pripreme staništa mogu biti vidljive samo u površinskome humusnom sloju (Löfgren i dr., 2009) te utjecati na povećanje pH-vrijednosti, Ca i Mg te smanjenje organske tvari i dušika. Ovakva kemijska priprema tla zahtjeva miješanje organskog i mineralnog dijela tla. Može imati negativne posljedice na ekosustav, iako to nije dokazano kod doza nižih od  $3 \text{ t ha}^{-1}$  (Löfgren i dr., 2009). Također, kontrolirani požar, kao ni primjena sredstava na temelju pepela nisu ispitani zbog već poznatih nedostataka kao što su potpuni gubitak organskog dijela te brzo ispiranje i osiromašenje površine (Jönsson i dr., 2004).

#### 7.5.1. Supstitucija sjetvom sjemena na istraživanim lokalitetima

Pokusi sjetve osnovani zbog više razloga, od kojih su najznačajniji ekonomski. Ako je sjetva uspješna, trošak sjetve može biti i manji od polovice troška osnivanja sadnjom sadnica te može biti dobra alternativa sadnji (Nilsson i dr., 2002; Kazda, 2005. A; Lof i Birkedal, 2009). Izbjegava se zastoj rasta pomlatka zbog presadnje. Zdravstveno stanje sjemena okularno je procijenjeno kao dobro, a laboratorijsko ispitivanje klijavosti zadovoljavajuće za sve vrste. Ipak, utvrđena je prisutnost gljive kod žira hrasta kitnjaka uoči prve sjetve, a kako podtaci o klijavosti nisu bili optimalni, količina je sjemena izmijenjena (Matić i dr., 1996). Slabo klijanje nakon prve sjetve, unatoč kvalitetnoj pripremi sjemena, može se obrazložiti štetama od grabežljivaca i štetočinja te sušnim uvjetima zbog kasne proljetne sjetve. Podatci o prvoj sjetvi i sadnji sjemena nisu uzeti u statističku obradu zbog toga što je sjetva ponovljena na svim lokalitetima i za sve

vrste, ali služi kao prilog činjenici da je sjetva nepouzdana metoda koja ovisi o brojnim čimbenicima.

Pojava ponika nakon ponovljene sjetve i sadnje sjemena općenito zadovoljavajuća. Na plohama jednostavne supstitucije utvrđeno je slabo preživljenje hrasta kitnjaka i obične bukve na svim lokalitetima. Statistički nije potvrđena razlika između različitih načina sjetve i pripreme staništa bez obzira na razdoblje koje je proteklo od zahvata. S obzirom na kontinuirano smanjenje broja biljaka bez obzira na metodu ili vrstu, može se zaključiti da, unatoč njegama, presudan utjecaj na preživljenje imaju negativni abiotski i biotski čimbenici. Iz toga se može zaključiti da su uvjeti za preživljenje biljaka klimatogenih vrsta u potpunom nedostatku zastora starih stabala iznimno nepovoljni. Iako pokazuje tek neznatno bolji uspjeh od sadnje „pod motiku“, sjetva „omaške“ hrasta kitnjaka na plohama jednostavne supstitucije, ekonomski je najzahtjevnija te neopravdana metoda jer je upotrijebljena mnogo veća količina žira.

Dobar uspjeh upotrebe sjemena hrasta kitnjaka ostvaren je sjetvom „omaške“ pod zastorom krošanja na lokalitetu „Pregrada – Klanjec“. Ovakvi nalazi potvrđuju da sjetva može biti dobra alternativa sadnji ako se zadovolje osnovni uvjeti. Osnovni uvjeti koji moraju biti zadovoljeni, a na koje možemo izravno utjecati, jesu dobra kvaliteta sjemena (potvrđeno laboratorijskim ispitivanjem) i kvalitetna predsjetvena priprema sjemena. Kazda (2005. a) pronalazi dobre rezultate upotrebe žira na površinama s djelomičnim zastorom i čak na površinama na kojima je u potpunosti izgubljena kultura obične smreke. Ipak, ističe da je zbog znatnih šteta od brojnih biotskih čimbenika ovaj način nepouzdana supstitucijska metoda. Napominje da se, kako bi sjetva uspjela, treba koristiti sjemenom visoke kvalitete (klijavost veća od 70 %), većom količinom sjemena po jedinici površine te kvalitetno pripremiti stanište (ukloniti vegetaciju i nerazgrađeni organski sloj). Ovakav je nalaz u skladu s dobivenim rezultatima te se ne preporučuje upotreba sjemena ove vrste u uvjetima bez zaštite koju pružaju krošnje starih stabala.

Unatoč dodatnom nicanju biljaka svih vrsta, smanjenje broja biljaka na nekim poduzorcima pod zastorom krošanja upućuje na veliku osjetljivost biljaka u prvim godinama nakon nicanja. Slabije nicanje i mnogo manje preživljenje na plohama jednostavne supstitucije potvrđuju i Agestam i dr. (2003). Za poduzorke u kojima nije zabilježeno nicanje utvrđeno je da je došlo do otkrivanja sjemena ili je sjeme pronađeno pod velikom količinom tla zbog pedoturbacije.

Znatna razlika između broja biljaka u prvoj u odnosu prema drugoj i trećoj godini upućuje na veliku dinamiku preživljenja te naglašava osjetljivost ponika prema okolišnim

čimbenicima. Ovakav nalaz potvrđuju i Nilsson i dr. (2002). Do koje mjere ostali okolišni čimbenici utječu na klijanje sjemena u ovome istraživanju nije kvantitativno utvrđeno. U slučaju obične bukve utjecaj intenziteta i kvalitete Sunčevog zračenja na klijanje sjemena nije vjerojatan (Ammer i dr., 2002), ali je za preživljenje značajan. Još Pons 1983. (preuzeto od Ammer i dr., 2002) utvrđuje kako na klijanje znatnije utječe stratifikacija sjemena od promjene odnosa radijacije. Za usporedbu uspjeha sjetve obične bukve i hrasta kitnjaka na plohama jednostavne supstitucije velik je utjecaj imala pojava kasnoga mraza (slika 7.4.), pri čemu je u svim tretiranjima evidentiran veći broj biljaka hrasta kitnjaka od obične bukve. Nizak broj preživjelog pomlatka u jesen 2011. godine svjedoči o većoj osjetljivosti obične bukve u usporedbi s hrastom kitnjakom, što je već dobro poznato šumarskoj znanosti (Matić i dr., 2001, 2003. b). Za obje vrste te za sva četiri tretiranja utvrđeno je smanjenje broja biljaka u drugoj godini, a najveća razlika između vrsta postoji u tretiranju „usitnjavanje“ koje ipak potvrđuje stanovit utjecaj nerazgrađene organske tvari na preživljenje.



**Slika 7.4.** Pokusne plohe jednostavne supstitucije na kojima su zabilježene najveće štete od mraza i sunčožara (lokalitet „Doljani“, lijevo) te štete od kasnoga mraza na pomlatku hrasta kitnjaka (desno)

Bolje preživljenje posađenih biljaka od onih iz sjemena, što je utvrđeno na svim lokalitetima, upućuje na dulje vrijeme osjetljivosti biljaka iz sjemena na nepovoljne utjecaje (npr. glodavci, puževi, kukci, gljivične bolesti, borba za resurse s prizemnom vegetacijom ili odraslim stablima te abiotički stres). U vegetacijskom pojasu bukve i jele, gdje je primijenjena metoda pod zastorom krošanja, podjednak je uspjeh biljaka obične bukve iz sjemena i posađenih sadnica. U nekim godinama biljke iz sjemena pokazuju čak bolji uspjeh od posađenih sadnica. Sličan nalaz pronalaze i Ammer i Mosandl (2007) koji nisu utvrdili statistički značajnu razliku između biljaka

porijeklom iz sjemena i sadnica. U svim godinama istraživanja veće srednje vrijednosti svih analiziranih parametara obične bukve (visina, promjer na bazi stabljike, visinski i debljinski prirast) utvrđene su u metodi jednostavne supstitucije. Ta se razlika znatno povećava u trećoj godini nakon nicanja. Biljke na pokusnim plohama pod zastorom krošanja rastu sporije od biljaka na plohama jednostavne supstitucije. Ovakav nalaz utvrđuju i Agestam i dr. (2003) za visinski prirast te povećanje biomase u suhome stanju obične bukve.

Zakorovljenje supstitucijske površine i štete od štetočinja najveća su prepreka uspješnom ishodu zahvata (Löf i Birkedal, 2009). Zakorovljenje u uvjetima potpune osvjetljenosti utvrđeno je i na više lokaliteta u Republici Hrvatskoj (npr. G. j. „Novakuša –Šikava”, odsjeci 14 c, 31 a, 31 d; G. j. „Brod na Kupi”, odsjek 68 a i 68 b; G. j. „Bosiljevo”, odsjek 21 g), a u najvećoj se mjeri pojavljuju bujad, kupina i malina. Glodavci i ptice također imaju utjecaj na uspjeh sjetve glede klijanja i preživljenja ponika. U nekim su slučajevima pronađeni tragovi odgrizanja na bukvi i žiru, što upućuje na to da su štete od životinja prisutne na pokusnim plohama. Drugi izvor varijabilnosti otpada na različitu debljinu tla kojim je sjeme pokriveno, čemu je posvećena posebna pozornost pri sadnji. Broj izniklih biljaka može biti povećan ispravnim prekrivanjem sjemena jer sprječava štete od predatora i umanjuje rizik od šteta zbog mraza te olakšava klijanje zbog boljeg kontakta sjemena s tlom (Agestam i dr., 2003).

Analizom različitih načina pripreme organske pokrivke i tla za sjetvu (bez pripreme, skarifikacija, popravljjanje kvalitete organskog horizonta dodavanjem bukova listinca, usitnjavanje) u pojasu hrasta kitnjaka i obične bukve utvrđeno je da nema znatne razlike bez obzira na vrstu, lokalitet ili analizirani parametar. Neki autori pronalaze pozitivan utjecaj ovih metoda na klijanje (Nilsson i dr., 2002; Ammer i dr., 2002). Ipak, izostanak jasnog utjecaja pripreme staništa uglavnom je ograničeno na studije jednostavne supstitucije, u kojima prevladavaju ostali utjecaji koji su kod ove metode izrazito naglašeni (Löf, 2000. b). Može se zaključiti kako je u uvjetima potpune osvjetljenosti utjecaj organske tvari na rast biljaka manji od nepovoljnog utjecaja okolišnih čimbenika kao što su mraz, suncožar i intenzivna pojava korova. Iako statistički nepotvrđena, razlika postoji, a najbolji su rezultati postignuti na plohama usitnjavanja organske tvari i plohama skarificiranja u svim godinama izmjere. Najmanje srednje vrijednosti broja biljaka utvrđene su na kontrolnim pokusnim plohama te pokusnim plohama na kojima je dodan bukov listinac kako bi se popravila njegova kvaliteta. Poboljšanje kvalitete organske tvari dodavanjem bukova listinca može imati pozitivan utjecaj na klijanje pod zastorom,

gdje su mikroklimatski uvjeti nepovoljniji za razgradnju. Pri tome bukov listinac pozitivno utječe na zadržavanje vlage (Ammer i dr., 2002). Treba napomenuti da je u istraživanju riječ o optimalnim uvjetima za razgradnju organske tvari pa i ne začuđuje što ovakva metoda nije postigla bolje rezultate. Ni Leder (1998) ne pronalazi utjecaj te metode na uspjeh biljaka. Kao što je već istaknuto, Wetterstedt (2010) te Berger i Berger (2014) u istraživanju pronalaze neočekivanu važnost temperature za razgradnju listinca različitih vrsta drveća u odnosu prema kvaliteti organske tvari. Ističu kako će se ona vrlo vjerojatno povećati u budućnosti. Ovakav nalaz podupiru i dobiveni rezultati. Odnos broja biljaka u drugoj godini po pojedinoj metodi sličan je broju tek izniklih biljaka u prvoj godini, što opet potvrđuje jači utjecaj nepovoljnih okolišnih čimbenika od utjecaja nerazgrađene organske tvari na preživljenje biljaka.

Analiza utjecaja nerazgrađene organske tvari u uvjetima mnogo povoljnijima za preživljenje biljaka, pod zastorom, utvrđen je na pokusnim plohama sjetve jele. Može se zaključiti kako statistički nije dokazan negativan utjecaj nerazgrađene organske tvari na plohama jednostavne supstitucije zbog jakog utjecaja ostalih negativnih čimbenika. U slučaju obične jele pod zastorom krošanja dokazana je statistički značajna razlika u klijanju i u preživljenju. Usporedba broja biljaka na skarificiranim pokusnim plohama na kojima je potpuno uklonjena nerazgrađena organska tvar i broja biljaka na kontrolnim pokusnim plohama potvrđuje negativan utjecaj nerazgrađene organske tvari. Nicanje i preživljenje biljaka na kontrolnim su pokusnim plohama zadovoljavajući, što znači da, iako utjecaj postoji, nije ograničavajući za uspjeh ove vrste. Zbog ponovljene sjetve na lokalitetu „Bistranska gora“ postoji mogućnost da je dio sjemena obične bukve i obične jele „preležao“, a kako bi se točno utvrdilo je li se to dogodilo i u kojoj mjeri, u sljedećim je godinama evidentirana pojava biljaka iz sjemena za svaki poduzorak. To je omogućilo dobivanje podataka o dinamici nicanja i vremena potpune pojave ponika u razdoblju od prve do treće godine nakon sadnje sjemena.

S obzirom na to da je na primjeru lokaliteta „Gornja Kupčina“ dokazano da se šumsko tlo zakorovi već nakon tri godine, pravodobnost radova supstitucije iznimno je važna. Isto vrijeme potrebno za zakorovljenje površina utvrđuju Cole i dr. (2003). Kemijska priprema staništa (suzbijanje korovske vegetacije primjenom glifosata „Cidokor“, 3 %-tna otopina) morala je biti primijenjena u drugoj godini pri ponovljenoj sjetvi na plohama jednostavne supstitucije na svim lokalitetima. Ova je metoda već dugi niz godina učinkovita mjeru suzbijanja korova u šumarstvu (Blackmore i Corns, 1979). Pozitivni rezultati u sličnim istraživanjima upućuju na

povećanje prirasta ponika i pomlatka nakon primjene glifosata, a on ovisi o kvaliteti staništa te o načinu i vremenu primjene herbicida (Cole i dr., 2003). Na pokusnim plohama na obama lokalitetima pružila je zadovoljavajuće rezultate. Ipak, vegetacija se već iduće sezone oporavila jer je pokrovnost i visina korovske vegetacije bila gotovo jednaka nakon oporavka. To se može objasniti činjenicom da tretiranja glifosatom imaju slab učinak kod korova koji su više godina prisutni te dobro razvijeni na staništu. Za šumske kulture obične smreke karakterističan je izostanak podstojne etaže i sloja grmlja, zbog čega su zahvati supstitucije složeniji od kultura s razvijenim vertikalnim sklopom (mješovite kulture).

Može se zaključiti da dobri rezultati sjetve klimatogenih vrsta pod zastorom krošanja svjedoče da, iako nakupljanje organske tvari ima utjecaj na klijanje, preživljenje i rast biljaka porijeklom iz sjemena, on nije ograničavajući, ni značajan te se ova metoda može primjenjivati za supstituciju. Matić i dr. (2000) dobivaju dobre rezultate sjetvom obične jele pod zastorom krošanja kulture obične smreke u Gorskom kotaru. Potvrđeno je da izravna sjetva i sadnja sjemena obične bukve i obične jele ispod krošanja zrele sastojine obične smreke može biti učinkovit i jeftin način unošenja poluskiofita i vrijednih vrsta drveća u čiste kulture obične smreke (Gommel, 1994; Baumhauer, 1996; Leder i Wagner, 1996; Kussner i Wickel, 1998; Städtler i Melles, 1999; preuzeto od Lüpkea i dr., 2004). Površine na kojima je obavljena sjetva mogu imati veću količinu ponika i pomlatka po hektaru od površina na kojima je obavljena sadnja, što pruža mnogo više mogućnosti pri odabiru stabala budućnosti (Willoughby i dr., 2004). Kako je istraživanjem utvrđeno da kulture obične smreke imaju negativan utjecaj na šumsku prostirku i gornji mineralni dio tla do 5 cm dubine te zbog već poznate veće osjetljivosti biljaka iz sjemena u usporedbi sa sadnicama, bolji uspjeh sadnje nasuprot sjetvi na plohama jednostavne supstitucije u skladu je s očekivanjima. Fizikalna obilježja tla u zoni zakorjenjivanja bila su povoljna, ali ni Berger i Hager (2000) ne pronalaze negativan utjecaj fizičkih obilježja gornjih slojeva tla na uspjeh sadnica (do 8 cm dubine mineralnoga sloja). Slabije nicanje te manji broj preživjelog ponika i pomlatka na plohama jednostavne supstitucije upućuju na to koliko je nužna zaštita starih stabala bez obzira na to o kojem se vegetacijskom pojasu ili vrsti govori. Ipak, niti u uvjetima očuvanoga sklopa sjetva ne može biti pouzdana pa se može preporučiti samo kod minimalnih rizika supstitucije koji osiguravaju dovoljno vremena za ponavljanje zahvata ako to bude potrebno. U šumarskoj praksi čak jedna trećina svih slučajeva sjetve obične bukve nije osobito uspješna, a jedna trećina rezultira potpunim neuspjehom (Ammer, 2006). I u zemljama



srednje Europe izravna se sjetva rijetko primjenjuje te se smatra nepouzdanom, često bez čvrstog objašnjenja što je tomu uzrok (Ammer i dr., 2002). Nesigurnost u predviđanju klimatskih promjena, pri čemu se osobito misli na klimatske poremećaje, vjerojatno će otežati uvjete za primjenu ove metode.

Brojni su uzroci koji utječu na uspjeh sjetve, iako nisu u svim slučajevima svi jednako bitni. Uzroci se dijele na tehničke i prirodne. Pri tome su prirodni mnogo složeniji i na njih je teže utjecati nego na čimbenike tehničke prirode. Osnovni preduvjeti koji se moraju ispuniti kako bi se povećala vjerojatnost uspjeha sjetve uključuju profesionalnu pripremu sjemena (uključujući i testove klijanja), izbjegavanje odugovlačenja između isporuke sjemena i same sjetve te optimalno formiranje gustoće krošanja. Pravilno otvaranje krošanja treba premostiti potrebu za poticanjem klijanja i preživljenja s prilično otvorenom krošnjom, s jedne strane, te potiskivanjem kompeticijske prizemne vegetacije s gustim sklopom, s druge strane (Ammer i dr., 2002; Leder i dr., 2003). U Njemačkoj izravna sjetva ostalih vrsta nije toliko uobičajena kao za kitnjak i lužnjak. Kako sjeme hrastova postaje sve zahtjevnije glede svjetla nakon samo nekoliko godina, ove se vrste ne siju ispod zastora smreke, nego po principima jednostavne supstitucije. U skladu s dobivenim rezultatima ovakav se način ne preporučuje u našim uvjetima.

#### 7.5.2. Supstitucija sadnjom različitih tipova i starosti šumskoga reprodukcijuskog materijala na istraživanim lokalitetima

Važnost šumskoga reprodukcijuskog materijala oduvijek je bila naglašena i za pošumljavanje i za prirodnu i umjetnu obnovu šuma. Njegov značenje i utjecaj na ekološki i financijski aspekt obnove sastojina i pošumljavanja raste s budućom promjenom stanišnih uvjeta (Perić i dr., 2010). Kvaliteta i način uzgoja sadnica imaju presudan utjecaj na zastoj rasta biljaka nakon presadnje. Ipak, određeni je stupanj stresa neizbježan pri presadnji u većini stanišnih uvjeta (Grossnickle, 2005) jer je rast korijena kritičan za primanje posađenih sadnica. Detaljna analiza uspjeha različitih vrsta sadnog materijala, presađenih na različita staništa, nije osigurala jasan odgovor oko toga koja vrsta osigurava bolje preživljenje (Hobbs, 1984; Owston, 1990). U pojasu bukve i jele utvrđen je mnogo manji mortalitet obične bukve kod sadnica obložena korijena. To se može obrazložiti smanjenim vodnim stresom. Vodni stres nastupa i zbog velike kompeticije korijena sadnica i stabala koja tvore zastor, a ovdje postoji i utjecaj nerazgrađene organske tvari

koja se neminovno miješa s mineralnim dijelom tla u sadnoj jami. Obilježje smrekovih kultura koje imaju veću količinu organskoga sloja očituje se u većoj temperaturi organskoga sloja i niskim temperaturama mineralnog dijela tla gdje se biljka zakorjenjuje. Sušenje je u većini slučajeva nastupilo u godini nakon lošega fiziološkog statusa biljke, bez obzira na to je li riječ o sadnicama golog ili obloženog korijena. Biljke za koje je procijenjen loš fiziološki status imale su i neznatan visinski i debljinski prirast. Preživljenje je sadnica obične bukve u vegetacijskom pojasu bukve i jele nisko za sadnice gologa korijena (55 – 60 %), uz iznimku, progala gdje je zadovoljavajuće.

Mortalitet sadnica u prvim godinama nakon presadnje važan je pokazatelj uspjeha provedenog zahvata. Može uzrokovati zakorovljenje i degradaciju površine, a pogreške u procjeni mortaliteta mogu znatno precijeniti budući prirast nasada na koji se često računa pri osnivanju (Vaughn, 2007). Ovisi o većem broju čimbenika kao što su kvaliteta, starost i način uzgoja sadnica, postupku sadnje te stanišnim čimbenicima koji se sve više i dinamičnije mijenjaju, a na koje uzgajivač može do određene mjere utjecati. Uvjeti nakupljanja nerazgrađene organske tvari koji su karakteristični za kulture obične smreke također imaju utjecaj na rast i razvoj korijena i sadnica (Subke i dr., 2004; Kazda 2005. a). Neposredno nakon sadnje klimatski parametri imaju presudan utjecaj na mortalitet. Naime, povišene temperature povećavaju pad hidrauličnog tlaka kod biljaka, što pojačava i negativno djelovanje biotičkih utjecaja (McDowell i dr., 2008). Sušni uvjeti utječu na propadanje sadnica, a predviđa se kako će klimatske promjene znatno povećati mortalitet biljaka u budućnosti. Sadnja koja je obavljena u kasno proljeće 2010. godine vjerojatno je povećala mortalitet na svim lokalitetima, jer su neposredno nakon sadnje uslijedili sušni uvjeti. Jednogodišnje sadnice obične jele gologa korijena zasigurno su bile pod znatnim utjecajem nakupljene organske tvari te nedostatka vlage u tlu, što je rezultiralo slabijim preživljenjem. Povoljniji uvjeti vlage pod zastorom krošanja šumske kulture u slučaju obične smreke upitni su zbog snažne međuvrsne kompeticije pomlatka i stabala obične smreke. To dodatno pojačava nepovoljne klimatske uvjete. Rezultati potvrđuju kako su mortalitet i oštećenje biljaka u prvim godinama nakon presadnje povezani sa supstitucijskom metodom, točnije, ovisni o postojanju kvalitetne zaštite smrekove kulture. Kao i u slučaju upotrebe sjemena, unatoč provedenim zahvatima njege ponika i pomlatka, zabilježene su štete od mraza, suncožara te biotičkih čimbenika na svim lokalitetima.

Na lokalitetu „Gornja Kupčina”, na pokusnim plohama jednostavne supstitucije, najbolje preživljenje pomlatka hrasta kitnjaka utvrđeno je pri sadnji na humcima (97,33 %). Najslabije preživljenje utvrđeno je na kontrolnim pokusnim plohama na kojima nije primijenjena nikakva priprema staništa, ali je ono također zadovoljavajuće (74,67 %). Sadnja na humke metoda je koja se primjenjuje radi umanjivanja negativnog utjecaja korovske vegetacije na pomladak, smanjenja primjene herbicida i žetve korova, povećanja relativne količine svjetla u blizini pomlatka, smanjenja količine vlage u tlu, povećanja temperature tla te smanjenja pojave šteta od mraza (Löf i dr., 2006; Löf i Birkedal, 2009). Može rezultirati povećanjem biomase pomlatka i do pet puta, a dolazi i do dubljeg zakorjenjivanja. Ova stara metoda dobiva osobito na važnosti na sjeveru Europe, na područjima s niskom temperaturom i visokim vodnim režimom. Istraživanja u ostatku Europe tek dobivaju na značenju jer se primjena herbicida sve više ograničava (Löf i dr., 2006.). Ipak, postoji opasnost od ispiranja hraniva zbog mehaničkog miješanja tla, koja postoji i pri sadnji u jame, iako u manjoj mjeri.

Preživljenje na pokusnim plohama jednostavne supstitucije uglavnom je povezano s intenzivnom pojavom korova te nije moguće utvrditi koliki je utjecaj nerazgrađene organske tvari. Utvrđeno je da su okolna vegetacija i svjetlosni uvjeti glavni čimbenici koji utječu na preživljenje, rast i prirast pomlatka i mladika, što potvrđuju i Vaughn (2007) te Comita i Hubbella (2009). Mehanička priprema staništa koja najbolje umanjuje pokrovnost korova u prvoj godini jest metoda usitnjavanja površinskoga sloja, a najslabija kontrolna metoda. Uspoređivanje ostalih parametara rasta ne pokazuje znatne razlike između načina sadnje, osim kod analize debljinskoga prirasta. Ovdje je najbolja metoda sadnje na „humke”, a najslabija „usitnjavanje”. Iako nije statistički dokazana razlika, metoda sadnje na humke ima najbolji uspjeh, dok je najslabiji uspjeh evidentiran za metodu „usitnjavanje”. Na lokalitetu „Doljani” preživljenje hrasta kitnjaka i obične bukve također je zadovoljavajuće (> 90%), iako se ono smanjuje s godinama. Na preživljenje, jednako kao i u slučaju sadnje sjemena, prevladavajući utjecaj ima mraz.

Osim mortaliteta, supstitucijske metode i različiti načini pripreme staništa rangirani su na temelju ostalih pokazatelja uspjeha (visina, promjer, visinski i debljinski prirast). Pojava negativnih vrijednosti visinskog prirasta uslijed šteta na vršnim izbojcima prisutna je u svim istraženim vegetacijskim pojasovima. Ovakve se vrijednosti se u mnogim slučajevima izuzimaju iz statističke obrade kao pogreška izmjere ili unosa (npr. Vaughn, 2007). Izostaviti ovakav podatak moglo bi dovesti do pogrešnog zaključka o uspjehu pojedine supstitucijske metode ili

načina pripreme staništa pa u ovome istraživanju to nije učinjeno. Označivanje svake biljke na terenu omogućilo je provjeru svih podataka. Utvrđeno je da nije došlo do pogreške izmjere ili unosa, nego je nastala šteta na mladim biljkama koje su jedan od najznačajnijih pokazatelja uspjeha supstitucijske metode. Česta je pojava sušenja terminalnog izbojka, nakon čega njegovu ulogu već iduće godine preuzima postrani izbojak. U ovakvim slučajevima utvrđeni su značajni prirasti koji su rezultat borbe s okolnom vegetacijom za svjetlo i toplinu. Odgrizanje stabljike od srneće divljači (unatoč ograđivanju pokusnih ploha) ili glodavaca utvrđeno je na nekoliko pokusnih ploha tijekom zime 2012./2013. godine. Za takve su biljke podatci interpolirani srednjom vrijednosti visina svih biljaka istoga promjera na bazi stabljike za isto tretiranje i ponavljanje.

Razlika uspjeha biljaka svih izmjerenih parametara između promatranih godina upućuje na prevladavajući utjecaj nepovoljnih čimbenika, a može upućivati i na zastoj rasta. Zbog snažnoga negativnog utjecaja vanjskih čimbenika to se ne može jasno potvrditi. Analiza rasta i kvalitete mladika hrasta kitnjaka šest i sedam godina nakon jednostavne supstitucije sadnjom upućuje na zadovoljavajući uspjeh ove metode. Kao i u slučaju upotrebe sjemena, zbog šteta uzrokovanih abiotskim i biotskim čimbenicima, ova se metoda ipak treba izbjegavati. Utvrđeno je da je promjer na bazi stabljike jednostavniji i pouzdaniji parametar u ovoj dobi sastojine od početnoga prsnog promjera koji predočuje promjer stabla koje tek prelazi prsnu visinu (1,30) (Cole i dr., 2003; Vaughn, 2007). Ipak, kod mladika hrasta kitnjaka mjeren je i tzv. prvi prsni promjer (eng. *first breast diameter, initial diameter*) kako bi se upotpunile spoznaje o prsnome promjeru biljaka koje urastaju u visinski razred 125 do 150 cm. Pri izmjeri i usporedbi podataka stabala pojavljuju se teškoće jer se u istraživanjima i praksi uglavnom stabla mjere na visini od 1,30 m. To je problem u mladiku gdje nisu sva stabla prešla prsnu visinu (Vaughn, 2007).

Analizom svih parametara utvrđen je nešto slabiji uspjeh pomlatka hrasta kitnjaka kod primjene bukova listinca u odnosu prema kontrolnoj metodi. Kod obične bukve nije utvrđena razlika između ispitanih načina pripreme staništa. Njihov se uspjeh izmjenjuje tijekom svih godina i za sve parametre rasta. Izostanak povoljnog utjecaja primjene bukova listinca već je objašnjen kod upotrebe sjemena, a ovaj nalaz samo potvrđuje već dobivene rezultate. Postoji razlika u tretiranjima između godina za obje vrste, pri čemu se jasno odvaja prirast biljaka u prvoj godini od ostalih. U oba tretiranja hrast kitnjak pokazuje brže povećanje vrijednosti u drugom i trećem vegetacijskom razdoblju, što upućuje na njegov brži rast. Iako se visinski prirast obične

bukve naglo povećava u trećoj godini, ne može se donijeti jasan zaključak o zastoju rasta u početnim godinama jer je on pod utjecajem šteta od mraza u prvoj godini nakon presadnje. Smanjenje razlike između ovih vrsta posljedica je pada visinskoga prirasta hrasta kitnjaka.

Dobar uspjeh sadnje gorskog javora na površinama na kojima je došlo do sušenja obične smreke upućuje na to da ova vrsta može poslužiti za supstituciju pri općoj niskoj stabilnosti šumske kulture. Visinski je prirast mladika gorskog javora dobar, ali je žetva korova te čišćenje nepoželjnih vrsta nužno. Ovom metodom četiri godine nakon presadnje sadnica nije postignuta optimalna kvaliteta mladika. Sadnja gorskog javora pod zastorom kulture obične smreke može biti način povećanja kvalitete. Ovaj način osigurava biološku i ekonomsku racionalizaciju uporabom sjemena obične smreke ako je cilj mješovita kultura gorskog javora i obične smreke, a ne supstitucija klimatogenim vrstama.

U metodama pod zastorom i jednostavnoj supstituciji sadnice gologa korijena starosti 2 + 0 veće su od jednogodišnjih sadnica obložena korijena, što se i može očekivati zbog veće početne visine. Dvogodišnje sadnice gologa korijena koje su sadene u progale imaju niže vrijednosti visina, a izvor ovoga odstupanja leži u drukčijem proizvođaču sadnoga materijala (različiti rasadnici poduzeća „Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb). Najmanje vrijednosti istraživanih parametara uspjeha imaju jednogodišnje sadnice obloženoga korijena u metodi pod zastorom stabala obične smreke. To se može objasniti međuvrskom kompeticijom te manjim dostupnim količinama svjetla od onih na plohama jednostavne supstitucije. Nešto veće vrijednosti mogu se uočiti u sadnji u progale, iako nema značajnih razlika. Najveći porast visina ovih sadnica zabilježen je u drugoj godini istraživanja na pokusnim plohama jednostavne supstitucije. Ne postoji razlika u visinama s promjenom vremena, što znači da ne postoje razlozi za sumnju na zastoj rasta.

U europskim zemljama tek je nekoliko postotaka površina smrekovih kultura supstituirano sadnjom sadnica bjelogoričnih vrsta pod zastorom krošanja (Kazda, 2005. a). Najveći postotak takvih površina nalazimo u pojedinim pokrajinama Njemačke (40 – 60 %). U Sloveniji, Austriji, Njemačkoj, Republici Češkoj i Švedskoj najčešće se upotrebljavaju obična bukva, gorski javor, lipa, jasen, hrast, ali ponegdje i duglazija, grab i divlja trešnja. Preporučuju se lokalne provenijencije, pri čemu se sadnice gologa korijena češće rabe od sadnica obložena korijena. U ovim zemljama rabe se sadnice velikog raspona visine (15 – 100 cm), starosti od 1 do 5 godina. Broj sadnica varira od 200 do 10 000 kom./ha<sup>-1</sup>.

Pod zastorom krošanja na početku istraživanja su posađene sadnice obične jele starosti 1 + 0. Nakon slabog preživljenja (47,67 %), sadnja je ponovljena sadnicama gologa korijena starosti 3 + 0 u idućoj godini. Zbog malih dimenzija sadnica (10 do 14 cm) korijenov je sustav uglavnom bio raspoređen u organskom te površinskom sloju tla. Preživljenje sadnica starosti 3 + 0 iznosilo je 62 % nakon prve godine. Utvrđen je visoki udjel biljaka koje su na temelju žute boje iglica procijenjene kao polusuhe (21,33 %). Nakon druge godine preživljenje se smanjuje na 37 %. Uzrok ovakvom nalazu može biti duže zadržavanje korijena obične jele u sloju gustoga sitnog korijenja obične smreke (slika 7.5.). Uzrok može biti i činjenica da su ispitane sadnice golog korijena, što bi se trebalo izbjeći u budućnosti. Nepovoljni svjetlosni uvjeti te pojava korova zbog sušenja obične smreke također može biti razlog slabom nalazu sadnje. Dobra sjetva nasuprot lošem rezultatu sadnje, uz dokazan utjecaj nerazgrađene organske tvari, upućuje i na veću osjetljivost ove vrste na presadnju. Njezina spontana pojava u metodi pod zastorom te dobar uspjeh sjetve svjedoče kako za tu vrstu nema ograničenja pridolaska u kulturu obične smreke, ali je zbog visoke osjetljivosti potrebno pokloniti osobitu pozornost kvaliteti sadnica te se koristiti sadnicama obloženoga korijena.



**Slika 7.5.** Gusti korijenov sustav obične smreke u organskom te gornjem sloju mineralnog dijela tla na lokalitetu „Bistranska gora” pojačava međuvrsnu kompeticiju te otežava sadnju

Zastoj rasta biljaka nakon presadnje posljedica je niza čimbenika koji se definiraju detaljnim fiziološkim i ekološkim analizama koje nisu cilj ovog istraživanja. Pojavljuje se uglavnom kod crnogoričnih vrsta te obično traje jednu do tri godine. Čimbenici o kojima ovisi zastoj rasta jesu: početna veličina korijenskog sustava u usporedbi s nadzemnim dijelom (Folk i Grossnickle, 1997; Burdett, 1990), rast korijena nakon presadnje (Burr, 1990; Ritchie i Tanaka, 1990; Grossnickle, 2005), specifična sezonska periodičnost rasta korijena svake vrste, stanišni

uvjeti u trenutku presadnje (voda u tlu, morfološka svojstva tla, temperatura tla, zračna vlaga, vjetar), nutritivni status biljaka (Burdett, 1990) te međuodnos između aktivnosti korijena i razgradnje iglica (Subke i dr., 2004; Kazda, 2005. a). Dva osnovna tipa zastoja rasta posađenih sadnica jesu: (1) početni je rast promijenjen zbog vodnog stresa i (2) produženo ograničenje rasta sadnica uzrokovano slabim pristupom hranivima (Burdett i dr., 1984). Nakon početnog zastoja rasta biljka ima prirast koji odgovara biljkama koje nisu doživjele stres tijekom presadnje (South and Zwolinski, 1996), ali značajno gubi kompeticijsku sposobnost s korovskom vegetacijom. Kontakt korijena i tla jedan je od presudnih čimbenika zastoja rasta i preživljenja biljaka. Zbog nepravilne prirode čestica tla, na spoju korijena i tla se mogu pojaviti zračne praznine. Kroz njih voda može proći samo u fazi vlage, koja je mnogo manje učinkovita od kretanja tekuće vode. Upravo je ovaj čimbenik značajan problem tijekom supstitucije. Unatoč utvrđenim povoljnim fizikalnim svojstvima tla, gotovo je nemoguće izbjeći miješanje nerazgrađene organske tvari šumske prostirke s česticama tla, što dodatno umanjuje kontakt tla i korijena, ali i kemijski djeluje inhibitorno na rast korijena (Hallsby, 1994). Veliki udio sitnog korijena obične smreke do dubine tla od 40 cm također povećava pojavu zračnih praznina tijekom sadnje.

Podjednak te u pojedinim godinama nešto slabiji uspjeh sadnica obične bukve u usporedbi s biljkama nastalih iz sjemena (metoda pod zastorom) upućuje na to da se sjetvom može kompenzirati eventualni zastoj rasta. Takav uspjeh, unatoč kraćem vremenu za razvoj biljaka iz sjemena (starost sadnica 1 + 0, gubitak jedne godine zbog ponovljene sjetve), upućuje na sjetvu kao bolju alternativu sadnji u optimalnim uvjetima. Slabiji visinski prirast sadnica gologa korijena kod jednostavne supstitucije upozoravana prisutnost stresa pri presadnji, pa se bolji rezultati mogu postići sadnjom sadnica obložena korijena. Visinski prirast biljaka nastalih sjetvom u ovoj supstitucijskoj metodi znatno zaostaje za prirastom sadnica, osobito pri kraju razdoblja istraživanja zbog lošijih okolišnih uvjeta, ali i veće osjetljivosti biljaka iz sjemena.

Bolja kvaliteta sadnica (npr. odabirom kvalitetnijih kontejnera, formiranjem optimalnoga korijenskog sustava), potpuniji odabir vrsta (prijelazne vrste) te veći izbor sadnica različite starosti i načina uzgoja mogao se osigurati samo ciljanom proizvodnjom sadnog materijala u sklopu ovoga istraživanja, što se nije moglo ostvariti zbog ograničena vremena istraživanja. Zbog navedenih razloga šumske sadnice potrebne za usporedbu supstitucijskih metoda nabavljene su iz nekoliko rasadnika poduzeća „Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb, te rasadnika Hrvatskoga šumarskog instituta.

**8. ZAKLJUČCI**



1. Postupak supstitucije je složen i skup zahvat sa šumskom kulturom. Da bi uspio mora se pravilno isplanirati, odnosno mora se definirati:

- zahvat u staroj sastojini (šumskoj kulturi) u cilju dovođenja svjetla na tlo
- izbor vrste za supstituciju
- prostorni raspored i omjer smjese vrsta koje unosimo u kulturu
- način pripreme tla
- način osnivanja (sjetva ili sadnja)
- veličina i starost sadnog materijala.

2. Jednostavna supstitucija daje slabije rezultate nego supstitucija na progalama i pod zastorom krošanja. Stoga se ne preporučuje.

3. Najbolje rezultate supstitucije smrekovih kultura dobili smo korištenjem metode pod zastorom krošanja.

4. Ako nismo sigurni u uspjeh supstitucije smrekovih kultura zbog brojnih ograničavajućih čimbenika, rađe se preporučuje osnivanje nove šumske kulture (mješovite) s većim učešćem bjelogoričnih vrsta.

5. Jedan od presudnih čimbenika za uspjeh supstitucije smrekovih kultura je pravovremena i dugotrajna njega (prorede) tijekom cijele ophodnje te potrebna njega ponika i pomlatka spontano pridošlih ili unešenih autohtonih vrsta. Njega šumske kulture ima pozitivan utjecaj na opću stabilnost kulture kao i na razgradnju organske tvari.

6. Sjetva sjemena obične bukve pod zastorom krošanja pokazala se kao jeftin i učinkovit način supstitucije. S obzirom na vertikalnu prirodnu rasprostranjenost obične bukve ovu metodu preporučujemo koristiti što češće.

7. Nakupljanje organske tvari (iglica smreke) i zakiseljavanje tla do dubine od 5 cm, nije pokazalo negativan utjecaj ako koristimo metodu jednostavne supstitucije. Prilikom korištenja metode pod zastorom krošanja i sjetve sjemena obične jele, zakiseljavanje površinskog dijela tla predstavlja problem i treba se izbjegavati.

8. Vrlo veliki problem kod supstitucije predstavlja korov koji leži u površinskom dijelu tla i čeka povoljne uvjete za klijanje (*Rubus* sp.). Prema tome, reguliranje pritjecanja svjetla na tlo je od izuzetne važnosti te će stoga sam izbor metode supstitucije u velikoj mjeri o tome ovisiti.

---

9. Osnivanje kultura obične smreke u pojasu hrasta kitnjaka trebalo bi ubuduće izbjegavati jer ekološki uvjeti, a i sve izraženije klimatske promjene, sigurno će ograničavati uspjeh podizanja novih kultura kao i kasniju supstituciju. Podizanje smrekovih kultura u pojasu bukve i u pojasu bukve i jele i dalje ima opravdanja. Sadašnje ekološke i klimatske prilike pogoduju osnivanju novih šumskih kultura obične smreke kao jedne vrijedne i vrlo produktivne vrste.

**9. LITERATURA**

---

### 9.1. Citirana literatura

1. **Abrahamsen, G.**, R. Horntvedt, B. Tveite, 1976: Impacts of acid precipitation on coniferous forest ecosystems. U: Dochinger L. S.; Seliga T. A. (ur.), Proceedings of the first international symposium on acid precipitation and the forest ecosystem. Gen. Tech. Rep. NE - 23, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Dostupno na: <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/11513> (Pristupila u veljači 2011.).
2. **Adams, M. B.**, J. A. Burger, A. B. Jenkins, L. Zelazny, 2000: Impact of harvesting and atmospheric pollution on nutrient depletion of eastern US hardwood forests. *Forest Ecology and Management*, 138: 301 – 319.
3. **Agestam, E.**, P. - M. Ekö, U. Nilsson, N. T. Welander, 2003: The effects of shelterwood density and site preparation on natural regeneration of *Fagus sylvatica* in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 176: 61 - 73.
4. **Albers, D.**, S. Migge, M. Schaefer, S. Scheub, 2004: Decomposition of beech leaves (*Fagus sylvatica*) and spruce needles (*Picea abies*) in pure and mixed stands of beech and spruce. *Soil Biology & Biochemistry*, 36: 155 – 164.
5. **Albers, D.**, S. Migge, M. Schaefer, S. Scheu, 2009: Litter decomposition in mixed spruce - beech stands. *Soil Biology & Biochemistry*, 36 (1): 155 - 164. Dostupno na: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4612-2178-4\\_30](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4612-2178-4_30) (Pristupila u veljači 2011.).
6. **Alriksson, M.**, T. Olsson, 1995: Soil changes in different age classes of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) on afforested farmland. *Plant and Soil*, 168 - 169 (1): 103 - 110.
7. **Ammer, C.**, R. Mosandl, H. El - Kateb, 2000: Conversion of pure spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands into mixed stands by direct - seeding of beech (*Fagus sylvatica* L.) - effects of canopy density and fine root biomass on seed germination. CAB Abstracts / Forest ecosystem restoration: ecological and economical impacts of restoration processes in secondary coniferous forests. Proceedings of the International Conference, Vienna, Austria, 10 – 12. 04. 2000.
8. **Ammer, C.**, 2002: Response of *Fagus sylvatica* seedlings to root trenching of overstory *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17: 408 - 416.

9. **Ammer, C.**, R. Mosandl, H. El - Kateb, 2002: Direct seeding of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands - effects of canopy density and fine root biomass on seed germination. *Forest Ecology and Management*, 159: 59 - 72.
10. **Ammer, C.**, 2003: Growth and biomass partitioning of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. seedlings in response to shading and small changes in the R/FR - ratio of radiation. *Annals of Forest Science*, 60 (2003): 163 - 171.
11. **Ammer, C.**, 2006: Direct seeding of beech – options and problems. U: IUFRO WP 1. 01. 07 Ecology and silviculture of beech: Abstracts of the International Conference “Beech silviculture in Europe’s largest beech country”, 4. - 8. 9. 2006., Poina Brasov, Rumunjska: 55 - 57.
12. **Ammer, C.**, R. Mosandl, 2007: Which grow better under the canopy of Norway spruce - planted or sown seedlings of European beech? *Forestry*, 80 (4): 385 - 395.
13. **Ammer, C.**, E. Bickel, C. Kolling, 2008: Converting Norway spruce stands with beech - a review of arguments and techniques. *Austrian Journal of Forest Science*, 125 (1): 3 - 26.
14. **Andersson, C.**, 2005: Litter decomposition in the forest ecosystem – influence of trace elements, nutrients and climate. *The ESS Bulletin*, 3 (1): 4 - 17.
15. **Antolić, M.**, 2002: Strukturne osobine i uzgojni postupci u šumskim kulturama američkog borovca i obične smreke. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
16. **Baier, R.**, J. Meyer, A. Göttlein, 2005: Regeneration niches of Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) saplings in small canopy gaps in mixed mountain forests of the Bavarian Limestone Alps. *European Journal of Forest Research*, 126 (1): 11 - 22.
17. **Balisky, A.**, P. J. Burton, 1993: Distinction of soil thermal regimes under various experimental vegetation covers. *Canadian Journal of Soil Science*, 73: 411 – 420. Dostupno na: <http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/cjss93-043>. (Pristupila 1. svibnja 2014.)
18. **Ball, M. C.**, J. Egerton, J. L. Lutze, V. P. Gutschick, R. B. Cunningham, 2002: Mechanisms of competition: thermal inhibition of tree seedling growth by grass. *Oecologia*, 133 (2): 120 – 130. Dostupno na: [http://www.researchgate.net/publication/201995963\\_Mechanisms\\_of\\_competition\\_thermal\\_inhibition\\_of\\_tree\\_seedling\\_growth\\_by\\_grass](http://www.researchgate.net/publication/201995963_Mechanisms_of_competition_thermal_inhibition_of_tree_seedling_growth_by_grass). (Pristupila 30. travnja 2014.)

19. **Barrelet, T.**, A. Ulrich, H. Rennenberg, C. N. Zwicky, U. Krähenbühl, 2008: Assessing the suitability of Norway spruce wood as an environmental archive for sulphur. *Environmental Pollution*, 156 (3): 1007 - 1014.
20. **Barszcz, J.**, S. Małek, 2008: Stability of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands in the Beskid Śląski and Beskid Żywiecki Mts. from the aspect of their nutrition status. *Journal of Forest Science*, 54 (2): 41 – 48.
21. **Baumhauer, H.**, 1996: Verjüngung durch Saat – ein Beitrag zur Kostensenkung. *Allgemeine Forst Zeitschrift / Der Wald* 51: 1192 - 1194.
22. **Berg B.**, K. T. Steffen, C. McClaugherty, 2006: Litter decomposition rate is dependent on litter Mn concentrations. *Biogeochemistry*, 30 (82): 29 – 39.
23. **Berg, B.**, M. - B. Johansson, V. Meentemeyer, 2000: Norway spruce forests: substrate quality and climate control. *Canadian Journal of Forest Research*, 30 (7): 1136 - 1147.
24. **Berger, T. W.**, H. Hager, 2000: Physical top soil properties in pure stands of Norway spruce (*Picea abies*) and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 136 (1 - 3): 159 - 172.
25. **Berger, T. W.**, C. Neubauer, G. Glatzel, 2002: Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in pure stands of Norway spruce (*Picea abies*) and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 159 (1 - 2): 3 - 14.
26. **Berger, T. W.**, B. Sun, G. Glatzel, 2004 a: Soil seed banks of pure spruce (*Picea abies*) and mixed species stands. *Plant and Soil*, 264: 53 - 67.
27. **Berger, T. W.**, G. Köllensperger, R. Wimmer, 2004 b: Plant - soil feedback in spruce (*Picea abies*) and mixed spruce - beech (*Fagus sylvatica*) stands as indicated by dendrochemistry. *Plant and Soil*, 264: 69 - 83.
28. **Berger, T. W.**, S. Swoboda, T. Prohaska, G. Glatzel, 2006: The role of calcium uptake from deep soils for spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Forest Ecology and Management*, 229 (1 - 3): 234 - 246.
29. **Berger, T. W.**, H. Untersteiner, H. Schume, G. Jost, 2008: Throughfall fluxes in a secondary spruce (*Picea abies*), a beech (*Fagus sylvatica*) and a mixed spruce - beech stand. *Forest Ecology and Management*, 255 (3 - 4): 605 - 618.

30. **Berger, T. W.**, H. Untersteiner, M. Topfitzer, C. Neubauer, 2009: Nutrient fluxes in pure and mixed stands of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Plant Soil*, 322: 317 – 342.
31. **Berger, T. W.**, P. Berger, 2014: Greater accumulation of litter in spruce (*Picea abies*) compared to beech (*Fagus sylvatica*) stands is not a consequence of the inherent recalcitrance of needles. *Plant Soil*, 385 (1 - 2): 349 - 369.
32. **Berger, T. W.**, P. Berger, 2014: Does mixing of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) litter hasten decomposition. *Plant Soil*, 377 (1 - 2): 217 - 234.
33. **Binkley, D.**, D. Valentine, 1991: Fifty - year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *Forest Ecology and Management* 40: 13 - 25.
34. **Blackmore, D. G.**, W. G. Corns, 1979: Lodgepole pine and white spruce establishment after glyphosate and fertilizer treatments of grassy cutover forest land. *Forestry Chronicle*, 65: 102 – 105.
35. **Blennow, K.**, M. Andersson, O. Sallnäs, E. Olofsson, 2010: Climate change and the probability of wind damage in two Swedish forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 818 – 830.
36. **Bonifacio, E.**, A. Caimi, G. Falsone, S. Trofimov, E. Zanini, D. L. Godbold, 2008: Soil properties under Norway spruce differ in spruce dominated and mixed broadleaf forests of the Southern Taiga. *Plant Soil*, 308 (1): 149 – 159.
37. **Brandtberg, P. O.**, H. Lundkvist, J. Bengtsson, 2000: Changes in forest - floor chemistry caused by a birch admixture in Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 130: 253 – 264.
38. **Branković, Č.**, I. Güttler, M. Patarčić, L. Srnec, 2010: Climate Change Impacts and Adaptation Measures - Climate Change scenario. U: Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction, 152 - 166. Dostupno na: [http://klima.hr/razno/publikacije/klimatske\\_promjene.pdf](http://klima.hr/razno/publikacije/klimatske_promjene.pdf).
39. **Branković, Č.**, M. Patarčić, I. Güttler, L. Srnec, 2012: Near - future climate change over Europe with focus on Croatia in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Research*, 52, 227 - 251. Dostupno na: [http://www.int-res.com/articles/cr\\_oa/c052p227.pdf](http://www.int-res.com/articles/cr_oa/c052p227.pdf)

- 
40. **Bruckner, A.**, E. Kandeler, C. Kampichler, 1999: Plot - scale spatial patterns of soil water content, pH, substrate - induced respiration and N mineralization in a temperate coniferous forest. *Geoderma*, 93: 207 – 223.
41. **Brunner, A.**, K. Hahn, P. Biber, J. P. Skovsgaard, 2006: Conversion of Norway spruce: A case study in Denmark based on silvicultural scenario modelling. *Sustainable Forest Management*, 343 - 371.
42. **Burdett, A. N.**, L. J. Herring, C. F. Thompson, 1984: Early growth of planted spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 14: 644 – 651.
43. **Burdett, A. N.**, 1990: Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 415 – 427.
44. **Burke, S.**, 2001: Can FORECAST be used to predict the sustainability of Norway spruce stands in southern Sweden? Master's Thesis, Lund's University Master's Programme in Environmental Science, Sweden.
45. **Burr, K. E.**, 1990: The target seedling concept: bud dormancy and cold - hardiness. U: Rose R., Campbell S. J., Landis T. D. (ur.): Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Assoc. Target Seedling Symposium, 13.–17. 08. 1990., Roseburg, Oregon. USDA RM For. and Range Exp. Station Gen. Tech. Rep. RM-200: 79–90. Dostupno na: <http://admin.rngr.net/publications/proceedings/1990/burr.pdf>. (Pristupila 04. svibnja 2014.)
46. **Cannell, M. G. R.**, J. H. M. Thornley, 2001: Maximizing wood yield, carbon storage and efficient use of N. U: Carnus J. - M., Dewar R., Loustau D., Tome M., Orazio C. (ur.), Models for the sustainable management of temperate plantation forests. *EFI Proceedings No. 41*: 7 - 16.
47. **Carletti, P.**, E. Vendramin, D. Pizzeghello, G. Concheri, A. Zanella, S. Nardi, A. Squartini, 2008: Soil humic compounds and microbial communities in six spruce forests as function of parent material, slope aspect and stand age. Springer Science, 2008.
48. **Cole, E. C.**, A. Youngblood, M. Newton, 2003: Effects of competing vegetation on juvenile white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) growth in Alaska. *Annals of Forest Science*, 60: 573 – 583.



49. **Collignon, C.**, C. Calvaruso, M. - P. Turpault, 2011: Temporal dynamics of exchangeable K, Ca and Mg in acidic bulk soil and rhizosphere under Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. *Plant Soil*, 349: 355 – 366.
50. **Comita, L. S.**, S. P. Hubbell, 2009: Local neighborhood and species' shade tolerance influence survival in a diverse seedling bank. *Ecology*, 90 (2): 328 – 334.
51. **Cools, N.**, L. Vesterdal, B. De Vos, E. Vanguelova, K. Hansen, 2014: Tree species is the major factor explaining C : N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*, 311 (1): 3 – 16.
52. **Couteaux, M. - M.**, P. Bottner, B. Berg, 1995: Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution*, 10 (2): 63 - 66.
53. **Cremer, K. W.**, C. J. Borough, F. H. Mckinnell, P. R. Carter, 1982: Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations. *N. Z. J. For. Sci.*, 12 (2): 244 – 268.
54. **Čavlović, J.**, T. Dubravac, V. Roth, S. Dekanić, K. Teslak, 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 (2): 187 – 193.
55. **Sterba, H.**, 2006: Inventory methods to investigate the necessity of, the options for and the success of forest conversion on a larger scale. U: Dedrick S., H. Spiecker, C. Orazio, M. Tomé, I. Martinez, 2007: *Plantation or Conversion - The Debate! - Ideas presented and discussed at a joint EFI Project Centre conference held 21 - 23 May 2006 in Freiburg, Germany. Discussion Paper 13, European Forest Institute: 98.*
56. **Devereux, J. J.**, M. H. Wolfe, C. T. Garte, 1998: Effects of soil warming on organic matter decomposition and soil - nitrogen cycling in a high elevation red spruce stand. *The Productivity and Sustainability of Southern Forest Ecosystems in a Changing Environment, Ecological Studies*, 128: 557 - 569. Dostupno na:  
[http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4612-2178-4\\_30](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4612-2178-4_30) (Pristupila: kolovoz 2012. godine)
57. **Dobrovolny, L.**, V. Tesar, 2010 a: Growth and characteristics of old beech (*Fagus sylvatica* L.) trees individually dispersed in spruce monocultures. *Journal of forest science*, 56 (9): 406 - 416.

58. **Dobrovlny, L.**, V. Tesar, 2010 b: Extent and distribution of beech (*Fagus sylvatica* L.) regeneration by adult trees individually dispersed over a spruce monoculture. Journal of forest science, 56 (12): 589 - 599.
59. **European Forest Research Institute**. Web stranica EFI projektnog centra CONFOREST (The question of conversion of coniferous forests): [www.conforest.uni-freiburg.de](http://www.conforest.uni-freiburg.de). (Pristupila u siječnju 2010.)
60. **Elmer, M.**, M. La France, G. Förster, M. Roth, 2004: Changes in the decomposer community when converting spruce monocultures to mixed spruce/beech stands. Plant and Soil, 264: 97 - 109.
61. **Fabiánek, T.**, L. Menšík, I. Tomášková, J. Kulhavý, 2009: Effects of spruce, beech and mixed commercial stand on humus conditions of forest soils. Journal of Forest Science, 55 (3): 119 – 126.
62. **Folk, R. S.**, S. C. Grossnickle, 1997: Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. New For., 13: 121 – 138. Dostupno na: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1006514805052#page-1> (Pristupila 04. svibnja 2014.)
63. **Formanek, P.**, V. Vranová, 2002: A contribution to the effect of liming on forest soils: review of literature. Journal of Forest Science, 49 (4): 182 – 190.
64. **Formánek, P.**, V. Vranová, 2003: The effect of spruce stand thinning on biological activity in soil. Journal of Forest Science, 49 (11): 523 – 530.
65. **Franz, F.**, 1983: Effects of forest decline on the structure and yield of Norway spruce stands. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 102 (3): 186 - 200.
66. **Frazer, G. W.**, C. D. Canham, K. P. Lertzman, 1999: Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true colour fisheye photographs. Usermanual and program documentation. Burnaby, Simon Fraser University; Millbrook – New York, Institute of Ecosystem Studies. Dostupno na: <http://www.rem.sfu.ca/forestry/downloads/Files/GLA-V2UserManual.pdf> (Pristupila u prosincu 2010. godine).
67. **Frivold, L.H.**, J.Frank, 2002: Growth of mixed birch – coniferous stands in relation to pure coniferous stands at similar sites in south - eastern Norway. Scandinavian Journal of Forest Research, 17 (2): 139 - 149.

68. **Gardiner, B.**, K. Byrne, S. Hale, K. Kamimura, S. Mitchell, H. Peltola, J. C. Ruel, 2008: A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests. *Forestry*, 81 (3): 447 - 461.
69. **Gärtner, S.**, A. Reif, 2005: The response of ground vegetation to structural change during forest conversion in the southern Black Forest. *European Journal of Forest Research*, 124: 221 – 231.
70. **Glatzel, G.**, H. Hietz, J. Hruska, M. Kazda, I. Offenthaler, C. Neubauer, I. Schmid, H. Schume, T. Berger, 2000: Plant - soil feedback in spruce (*Picea abies*) and mixed spruce beech (*Fagus sylvatica*) stands: a hypothesis linking chemical properties of the O - horizon with rooting patterns, soil water relations and stand transpiration. U: Hasenauer H. (ur.), *Proceedings of an International Conference on Forest Ecosystem Restoration*, 10. – 12. 04. 2000., University of Agricultural Science, Vienna, Austria, 106 – 111.
71. **Gommel, H. J.**, 1994: Umbau von Fichtenbeständen durch Buchensaat. *Allgemeine Forst Zeitschrift / Der Wald* 49: 516 - 518.
72. **Gračan, J.**, 1984: Varijabilnost provenijencija obične smreke (*Picea abies* /L./ Karst.) u dijelu prirodnog rasprostranjenja. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
73. **Gračan, J.**, J. Martinović, A. Vranković, J. Medvedović, J. Medak, M. Oluić, B. Lipovščak, D. Oluić, B. Biondić, R. Biondić, D. Medak, B. Pribičević, A. Đapo, I. Medved, S. Fijan - Parlov, S. Hudina, 2002: Dinamički geoinformacijski prikaz šumskih ekosustava Hrvatske.
74. **Gradečki, M.**, K. Poštenjak, 2001: Odnos između laboratorijske i rasadničke klijavosti sjemena obične jele (*Abies alba* Mill.). U: I. Grbac, J. Gračan (ur.): *Znanost u potrajnom gospodarenju Hrvatskim šumama*, 2001, Zagreb.
75. **Grant, R. H.**, G. M. Heisler, W. Gao, 1996: Photosynthetically - active radiation: sky radiance distributions under clear and overcast conditions. *Agric. For. Meteorol.*, 82: 267 – 292.
76. **Grodzki, W.**, R. Jakuš, E. Lajzova, Z. Sitkova, T. Maczka, J. Škvarenina, 2006: Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: *Curculionidae*, *Scolytinae*) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Annals of Forest Science*, 63 (1): 55 - 61.

77. **Grossnickle, S. C.**, 2005: Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30: 273 – 294.
78. **Guevara – Escobar, A.**, J. Tellez, E. Gonzalez - Sosa, 2005: Use of digital photography for analysis of canopy closure. *Agroforestry Systems* 65: 175 - 185.
79. **Hale, S.**, 2001: Light regime beneath Sitka spruce plantations in northern Britain: preliminary results. *Forest Ecology and Management*, 151: 61 – 66.
80. **Hallsby, G.**, 1994: The influence of different forest organic matter on the growth of one - year old planted Norway spruce seedlings in a greenhouse experiment. *New Forests*, 8: 43 - 60.
81. **Hanewinkel, M.**, H. Pretzsch, 2000: Modelling the conversion from even - aged to uneven - aged stands of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) with a distance - dependent growth simulator. *Forest ecology and management*, 134: 55 - 70.
82. **Hannam, K. D.**, S. A. Quideau, S. - W. Oh, B. E. Kishchuk, R. E. Wasylishen, 2004: Forest floor composition in Aspen - and Spruce - dominated stands of the boreal mixedwood forest. *Soil Science Society of America Journal*, 68 (5): 1735 - 1743.
83. **Hansen, J.**, H. Spiecker, K. von Teuffel (ur.), 2003: The question of conversion of coniferous forests. *Proceedings of the international conference in Freiburg im Breisgau, Germany, 27.9. – 2. 10. 2003. Freier Forstliche Forschung: Berichte, Heft 47: 73.*
84. **Hambuckers, A.**, J. Remacle, 1991: Nutritional status of declining spruce (*Picea abies* (L.) Karst.): effect of soil organic matter turnover rate. *Water, Air & Soil Pollution*, 59 (1 - 2): 95 - 106.
85. **Hardy, J. P.**, R. Melloh, G. Koenig, D. Marks, A. Winstral, J. W. Pomeroy, T. Link, 2004: Solar radiation transmission through conifer canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126: 257 - 270.
86. **Harmon, M. E.**, G. A. Baker, G. Spycher, S. E. Greene, 1990: Leaf - litter decomposition in the *Picea/Tsuga* forests of Olympic national park, Washington, U.S.A. *Forest Ecology and Management*, 31: 55 - 66.
87. **Hasenauer, H.** (ur.), 2000: Ecological and economical impacts of restoration processes in secondary coniferous forests. *Proceedings of the international conference on forest ecosystem restoration. Vienna, Austria, 10. -12. 04. 2000.*

88. **Hasenauer, H.**, 2004: Glossary of terms and definitions relevant for conversion. U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, Von Teuffel (ur.), Norway spruce conversion – Options and consequences, European Forest Institute Research Report 18, 2004, Brill, Leiden - Boston, 5 - 23.
89. **Hättenschwiler, S.**, A. V. Tiunov, Scheu S., 2005: Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36: 191 - 218.
90. **Hector, A.**, R. Bagchi, 2007: Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature* 448: 188 – 190.
91. **Heiermann, J.**, K. Földner, 2006: Mixed forests in comparison to monocultures: Guarantee for a better forest conservation and higher species diversity? Macroheterocera (*Lepidoptera*) in forests of European beech and Norway spruce. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 15: 195 - 200.
92. **Heim, A.**, B. Frey, 2004: Early stage litter decomposition rates for Swiss forests. *Biogeochemistry*, 70 (3): 299.
93. **Heitz, R.**, 2000: Reconversion of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands into mixed forests: effects on soil properties and nutrient fluxes. U: Hasenauer, H. (ur.), Forest ecosystem restoration: ecological and economical impacts of restoration processes in secondary coniferous forests. Proceedings of the International Conference, Vienna, Austria, 10. -12. 04. 2000: 119 - 125.
94. **Hering, S.**, S. Irrgang, 2005: Conversion of substitute tree species stands and pure spruce stands in the Ore Mountains in Saxony. *Journal of forest science*, 51 (11): 519 - 525.
95. **Hobbie, S. E.**, P. B. Reich, J. Oleksyn, M. Ogdahl, R. Zytowski, C. Hale, P. Karolewski, 2006: Tree species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden., 87 (9): 2288 - 2297.
96. **Hobbs, S. D.**, 1984: The influence of species and stocktype selection on stand establishment: an ecophysiological perspective. U: Duryea M. L., Brown G. D. (ur.), Seedling Physiology and Reforestation Success. Dordrecht/Boston/Lancaster: 179–224. Dostupno na: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-009-6137-1\\_9#page-1](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-009-6137-1_9#page-1) (Pristupila 29. ožujka 2014.)

97. **Holubík, O.**, V. Podrázský, J. Vopravil, T. Khel, J. Remeš, 2014: Effect of agricultural lands afforestation and tree species composition on the soil reaction, total organic carbon and nitrogen content in the uppermost mineral soil profile. *Soil & Water Res.*, 9: 192 – 200.
98. **Hovland, J.**, G. Abrahamsen, G. Ognér, 1980: Effects of artificial acid rain on decomposition of spruce needles and on mobilisation and leaching of elements. *Plant and Soil* 56: 365 - 378.
99. „Hrvatske šume“ d. o. o., **Zagreb**, 2006: Šumskogospodarska osnova područja Republike Hrvatske. Služba za uređivanje šuma, Zagreb, 2006. Važnost: 01. 01. 2006. - 31. 12. 2015.
100. „Hrvatske šume“ d. o. o., **Zagreb**, 1999: Osnova gospodarenja Gospodarskom jedinicom „Sušica“, Karlovac. Važnost: 01. 01. 1999. - 31. 12. 2008.
101. „Hrvatske šume“ d. o. o., **Zagreb**, 1999: Osnova gospodarenja Gospodarskom jedinicom „Sušica“, Karlovac. Važnost: 01. 01. 2009. - 31. 12. 2018.
102. „Hrvatske šume“ d. o. o., **Zagreb**, 2008: Osnova gospodarenja Gospodarskom jedinicom „Jastrebarske prigorske šume“, Karlovac. Važnost: 01. 01. 2008. -31. 12. 2017.
103. „Hrvatske šume“ d. o. o., **Zagreb**, 2008: Osnova gospodarenja Gospodarskom jedinicom „Bistranska gora“, Zagreb. Važnost: 01. 01. 2008. - 31. 12. 2017.
104. „Hrvatske šume“ d. o. o., **Zagreb**, 2004: Osnova gospodarenja Gospodarskom jedinicom „Pregreda - Klanjec“, Zagreb. Važnost: 01. 01. 2004. - 31. 12. 2013.
105. **Ikonen, V. - P.**, H. Peltola, L. Wilhelmsson, A. Kilpeläinen, H. Väisänen, T. Nuutinen, S. Kellomäki, 2008: Modelling the distribution of wood properties along the stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as affected by silvicultural management. *Forest Ecology and Management*, 256 (6): 1356 – 1371.
106. **IPCC**, 2007: Fourth Assessment Report. Official IPCC website: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
107. **Janišova, M.**, R. Hrivnak, D. Gömöry, K. Ujhazy, M. Valachovič, E. Gömöriova, K. Hegedúšova, I. Škodova, 2007: Changes in understorey vegetation after Norway spruce colonization of abandoned grassland. *Ann. Bot. Fennici*, 44: 256 - 266.
108. **Jansen, M.**, M. Chodak, J. Saborowski, F. Beese, 2005: Determination of humus stocks and qualities of forest floors in pure and mixed stands of spruce and beech. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 176 (9/10): 176 - 185.

109. **Jacobsen, J. B.**, B. Möhring, C. Wippermann, 2004: Business economics of conversion and transformation – A case study of Norway spruce in Northern Germany. U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, Von Teuffel (ur.), Norway spruce conversion – Options and consequences, European Forest Institute Research Report 18, 2004, Brill, Leiden - Boston, 225 - 252.
110. **Jarčuška, B.**, 2008: Methodological overview to hemispherical photography, demonstrated on an example of the software GLA. *Folia oecologica*, 35 (1): 66 - 69.
111. **Jarčuška, B.**, S. Kucbel, P. Jaloviar, 2010: Comparison of output results from two programmes for hemispherical image analysis: Gap Light Analyser and WinScanopy. *Journal of forest science*, 56 (4): 147 - 153.
112. **Jelaska, S.**, J. Križaj, 2003: Upotreba hemisfernih fotografija u ekološkim istraživanjima šumske zajednice Omphalodo - Fagetum u Hrvatskoj. U: V. Besendorfer, N. Kopjar, Zbornik sažetaka 8. Hrvatskog biološkog kongresa, 27. 09. - 02. 10. 2003, Zagreb.
113. **Johann, E.**, M. Agnoletti, A. L. Axelsson, M. Bürgi, L. Östlund, X. Rochel, U. E. Schmidt, A. Schuler, J. P. Skovsgaard, V. Winiwarter, 2004: History of secondary Norway spruce forests in Europe. U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, Von Teuffel (ur.). Norway spruce conversion – Options and consequences. European Forest Institute Research Report 18: 25 – 62.
114. **Jonckheere, I.**, K. Nackaerts, B. Muys, P. Coppin, 2005: Assessment of automatic gap fraction estimation of forest from digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 96 - 114.
115. **Jönsson, A. M.**, N. Bengt, 2004: Slash Pile Burning at a Norway Spruce Clear - cut in Southern Sweden. *Water, Air, & Soil Pollution*, 158 (1): 127 - 135.
116. **Kacálek, D.**, J. Novák, D. Dušek, J. Bartoš, V. Černohous, 2009: How does legacy of agriculture play role in formation of afforested soil properties? *Journal of Forest Science*, 55 (1): 9 – 14.
117. **Kacalek, D.**, D. Dusek, J. Novak, M. Slodicak, J. Bartos, V. Cernohous, V. Balcar, 2011: Former agriculture impacts on properties of Norway spruce forest floor and soil. *Forest Systems*, 20 (3): 437 - 443.
118. **Kacálek, D.**, D. Dušek, J. Novák, J. Bartoš, 2013: The impact of juvenile tree species canopy on properties of new forest floor. *Journal of Forest Science*, 59 (6): 230 – 237.

119. **Kandler, O.**, 2014: The air pollution / forest decline connection: The "Waldsterben" theory refuted. Službena stranica FAO-a, dostupno na: <http://www.fao.org/docrep/v0290e/v0290e07.htm>. (Pristupila 29. lipnja 2014.)
120. **Kandler, O.**, J. L. Innes, 1995: Air pollution and forest decline in Central Europe. *Environmental pollution*, 90 (2): 171 - 180.
121. **Kantor, P.**, V. Tesař V., R. Knott, 2000: Ecological stability and production potential of allochthonous spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in upland regions of the Czech Republic. *Ekológia (Bratislava)*, 19 (Supplement 1/2000): 5 - 23.
122. **Kanyama, A. C.**, K. Blennow, 2014: Evaluating the Local Climate Impacts Profile tool for assessing local impacts of extreme weather events. *Journal of Geography and Natural Disasters*, 4: 122.
123. **Kantor, P.**, F. Šach, V. Černohous, 2009: Development of foliage biomass of young spruce and beech stands in the mountain water balance research area. *Journal of Forest Science*, 55 (2): 51 – 62.
124. **Katušín, Z.** 2000: Praćenje i ocjena klime u 1999. godini. Državni Hidrometeorološki zavod, Zagreb.
125. **Katušín Z.** 2001.: Praćenje i ocjena klime u 2000. godini. Državni Hidrometeorološki zavod, Zagreb.
126. **Kazda, M.**, I. Schmid, K. Klumpp, 2000: Photosynthetic performance of *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus* planted under canopy of a coniferous forest. U: Klimo E., Hager H., Kulhavy J. (ur.), *Spruce Monocultures in Central Europe – Problems and Prospects*. EFI Proceedings 33, 63 – 70.
127. **Kazda, M.**, J. Salzer, I. Schmid, Ph. Von Wrangell, 2005: Importance of mineral nutrition for photosynthesis and growth of *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus* planted under Norway spruce canopy. *Plant and Soil*, 264 (1 - 2). Dostupno na: <http://www.springerlink.com/content/t821415647544117> (Pristupila u ožujku 2010.)
128. **Kazda, M.** 2005 a: Underplanting of beech under spruce – site preparation and plant type. U: M. Kazda (ur.): *Results from the SUSTMAN Project (EU Framework 5, QLK5 – CT – 2002 - 00851)*. Dostupno na: [www.sustman.de](http://www.sustman.de) (Pristupila u svibnju 2010.)



129. **Kazda, M.** 2005 b: Underplanting of beech beneath spruce: Selection of sites. U: M. Kazda (ur.): Results from the SUSTMAN Project (EU Framework 5, QLK5 – CT – 2002 - 00851). Dostupno na: [www.sustman.de](http://www.sustman.de) (Pristupila u svibnju 2010.)
130. **Kazda, M., M. Pichler,** 1998: Priority assessment for conversion of Norway spruce forests through introduction of broadleaf species. *Forest Ecology and Management*, 102 (2 – 3): 245 - 258.
131. **Kenk, G., S. Guehne,** 2001: Management of transformation in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 151 (1): 107 - 119.
132. **Klimo, E., H. Hager, J. Kulhavy** (ur.), 2000: Spruce monocultures in central Europe – Problems and prospects. International Workshop Brno, 22 - 25 June 1998. *EFI Proceedings* 33: 208.
133. **Klimo, E., J. Kulhavy,** 2006: Norway spruce monocultures and their transformation to close – to – nature forests from the point of view of soil changes in the Czech Republic. *Ekologia (Bratislava)*, 25 (1): 27 - 43.
134. **Klotzbücher, T., K. Kaiser, C. Stepper, E. van Loon, P. Gerstberger, K. Kalbitz,** 2012: Long - term litter input manipulation effects on production and properties of dissolved organic matter in the forest floor of a Norway spruce stand. *Plant Soil*, 355: 407 – 416.
135. **Knoke, T., C. Ammer, B. Stimm, R. Mosandl,** 2008: Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *European Journal of Forest Research*, Volume 127 (2): 89 - 101.
136. **Knoke, T., B. Stimm, C. Ammer, M. Moog,** 2005: Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution on an ecological concept. *Forest Ecol. Managem.* 213, 102 – 116.
137. **Komlenović, N., J. Martinović,** 1965: Utjecaj plodnosti tla na rast obične smreke u kulturi Vrelo kod Jastrebarskog. *Šumarski list*, 89 (3 – 4): 213 - 227.
138. **Komlenović, N., J. Martinović, S. Milković,** 1969: Kloroza obične smreke u mlađim kulturama na području vriština. *Šumarski List*, 93 (3 – 4): 92.
139. **Komlenović, N.,** 1973: Koncetracija hraniva u iglicama obične smreke (*Picea abies* Karts.) kao indikator stanja ishrane kultura. Doktorska disertacija. Šumarski fakultet Zagreb: 1 - 226.
140. **Komlenović, N.,** 1975: Istraživanje utjecaja dušika na uspijevanje biljaka obične smreke (*Picea abies* Karst.). *Šumarski list*, 99 (3 – 4): 85 - 101.

141. **Komlenović, N.**, J. Gračan, P. Rastovski, 1981: Prilog rješavanju odnosa ishrane i rasta nekih provenijencija obične smreke (*Picea abies* Karst.). Šumarski List, 105 (5 – 7): 211.
142. **Komlenović, N.**, B. Mayer, 1982: Istraživanja rasta i stanja ishrane mladih kultura obične smreke (*Picea abies* Karst.) na glavnim tipovima tala Gorskog Kotara. Šumarski list, 106 (1 – 3): 3.
143. **Komlenović, N.**, J. Gračan, S. P. Gessel, 1985: The response of some Norway spruce (*Picea abies* Karst.) provenances to fertilizers, (Reakcija nekih provencijencija obične smreke /*Picea abies* Karst. / na gnojidbu). Forest site and productivity. Martinus Nijhoff Publishers: 185 - 189.
144. **Komlenović, N.**, S. Orlić, P. Rastovski, 1995: Uspijevanje šest vrsta četinjača u području bujadnica i vriština. Šumarski list, 119 (5 – 6): 169 - 178.
145. **Koukol, O.**, B. Beňová, M. Vosmanská, T. Frantík, M. Vosátka, M. Kovářová, 2008: Decomposition of spruce litter needles of different quality by *Setulipes androsaceus* and *Thysanophora penicillioides*. Plant Soil, 311: 151 – 159.
146. **Kovářová, M.**, S. Vacek, 2003: Mountain Norway spruce forests: Needle supply and its nutrient content. Journal of Forest Science, 49 (7): 327 – 332.
147. **Kukla, J.**, M. Kuklová, 2011: Impact of long - term cultivation of spruce monocultures on development of forest soils. Beskydy, 4 (2): 161 – 172.
148. **Kulhavý, J.**, T. Berger, V. Čaboun, A. Gottlein, B. Grunda, R. Heitz, P. Kantor, E. Klimo, B. Lomský, S. Niemtur, K. E. Rehfuss, M. Slodičák, H. Sterba, L. Vesterdal, 2004: Ecological consequences of conversion. Research Report - European Forest Institute (EFI), 18: 165 - 195. Dostupno na:  
<http://www.cababstractsplus.org/google/abstract.asp?AcNo=20043107319> (Pristupila 11. 04. 2010.)
149. **Kupka, I.**, V. Podrázský, 2011: Species composition effects of forest stands on afforested agricultural land on the soil properties. Scientia Agriculturae Bohemica, 42 (1): 19 – 23.
150. **Küssner, R.**, A. Wickel, 1998: Entwicklung einer Buchensaat unter Fichte im Osterzgebirge. Forstarchiv 69: 191 - 198.
151. **Larsen, J. B.**, 1995: Ecological stability of forests and sustainable silviculture. Forest Ecology and Management, 73 (1 - 3): 85 - 96.

152. **Leder, B.**, S. Wagner, 1996: Bucheckern/Streu - Voraussaat als Alternative beim Umbau von Nadelholzreinbeständen in Mischbeständen. Forstarchiv 67: 7 - 13.
153. **Lehto, T.**, 1994 a: Effects of liming and boron fertilization on mycorrhizas of *Picea abies*. Plant and Soil 163: 65 - 68.
154. **Lehto, T.**, 1994 b: Effects of soil pH and calcium on mycorrhizas of *Picea abies*. Plant and Soil 163: 69 - 75.
155. **Lehto, T.**, 1995: Boron retention in limed forest mor. Forest Ecology and Management 78: 11 - 20.
156. **Lehto, T.**, E. Mälkönen, 1994: Effects of liming and boron fertilization on boron uptake of *Picea abies*. Plant and Soil 163: 55 - 64.
157. **Lieffers, V. J.**, C. Messier, K. J. Stadt, F. Gendron, P. G. Comeau, 1999: Predicting and managing light in the understorey of boreal forests. Canadian Journal of Forest Research, 29: 796 - 811.
158. **Löf, M.**, 2000: Influence of patch scarification and insect herbivory on growth and survival in *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* L. Karst. and *Quercus robur* L. seedlings following a Norway spruce forest. Forest Ecology and Management, 134 (1 – 3): 111 – 123.
159. **Löf, M.**, D. Rydberg, A. Bolte, 2006: Mounding site preparation for forest restoration: Survival and short term growth response in *Quercus robur* L. seedlings. Forest Ecology and Management 232: 19 - 25.
160. **Löf, M.**, M. Birkedal, 2009: Direct seeding of *Quercus robur* L. for reforestation: The influence of mechanical site preparation and sowing date on early growth of seedlings. Forest Ecology and Management, 258 (5): 704 - 711.
161. **Löfgren, S.**, N. Cory, T. Zetterberg, P.-E. Larsson, V. Kronna, 2009: The long - term effects of catchment liming and reduced sulphur deposition on forest soils and runoff chemistry in southwest Sweden. Forest Ecology and Management 258 (2009) 567 – 57.
162. **Lüpke, B. von**, C. Ammer, M. Bruciamacchie, A. Brunner, J. Ceitel, C. Collet, C. Deuleuze, J. di Placido, J. Huss, J. Jankovič, P. Kantor, J. Bo Larsen, M. Lexer, M. Löf, R. Longauer, P. Madsen, J. Modrzynski, R. Mosandl, A. Pampe, A. Pommerening, I. Štefančik, V. Tesar, R. Thompson, J. Zientarski, 2004: Silvicultural strategies for conversion. U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, von Teuffel (ur.), Norway spruce conversion – Options and consequences. European Forest Institute Research Report, 18: 121 - 164.

163. **Narodne novine**, br. 24/81: Zakon o proglašenju zapadnog dijela Medvednice parkom prirode, 1981.
164. **Narodne novine**, br. 30/94: Zakon o prostornom uređenju, 1994.
165. **Nilsson, U., P. Gemmel, U. Johansson, M. Karlsson, T. Welander**, 2002: Natural regeneration of Norway spruce, Scots pine and birch under Norway spruce shelterwoods of varying densities on a mesic - dry site in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 161: 133 - 145.
166. **Nobis, M.**, U. Hunziker, 2005: Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology* 128: 243 - 250.
167. **Nordborg, F.**, 2001: Effects of site preparation on soil properties and on growth, damage and nitrogen uptake in planted seedlings. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp.
168. **Novák, J.**, M. Slodičák, 2004: Structure and accumulation of litterfall under Norway spruce stands in connection with thinning. *J. For. Sci.*, 50 (3): 101 – 108.
169. **Novák, J.**, M. Slodičák, 2006: Litter - fall as a source of nutrients in mountain Norway spruce stands in connection with thinning. U: Jurásek A., Novák J., Slodičák M. (ur.): *Stabilization of Forest Functions*, Opočno, 2006.
170. **Novak, J.**, M. Slodičák, 2009: Thinning experiment in the spruce and beech mixed stands on the locality naturally dominated by beech – growth, litter - fall and humus. *Journal of Forest Science*, 55 (5): 224 – 233.
171. **Novák, J.**, M. Slodičák, D. Dušek, 2009: Humus and nutrients accumulation under young Norway spruce stands in protective zone of water resources in the Krušné hory Mts. *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 54 (special issue): 37 - 42.
172. **Novák, J.**, M. Slodičák, D. Dušek, D. Kacálek, 2010: Long - term effect of thinning from above on forest - floor in Scots pine stands in Southern Moravia (Czech Republic). *Austrian Journal of Forest Science*, 01/2010; 127 (3): 97 - 110.
173. **Novák, J.**, M. Slodičák, D. Dušek, D. Kacálek, 2013: Norway spruce litterfall and forest floor in the IUFRO thinning experiment CZ 13. *Journal of forest science*, 59 (3): 107 – 116.
174. **Nykänen, M. - L.**, H. Peltola, C. P. Quine, S. Kellomäki, M. Broadgate, 1997: Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31 (2): 193 – 213.

175. **Malek, S.**, L. Grabowski, 2010: Content of macronutrients in needles and litterfall in Norway spruce stands of different age in the Potok Dupnianski catchment, the Silesian Beskid. *Folia Forestalia Polonica*, series A, 52 (2): 67 – 75.
176. **Martinović, J.**, 1970: Neke karakteristike organske materije tala u smrekovim šumama Hrvatske. *Šumarski list*, 94 (11 – 12): 44 - 59.
177. **Martinović, J.**, 2003: Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj. Šumarski institut Jastrebarsko, Hrvatske šume, Zagreb, 2003.
178. **Matić, S.**, 1984: Utjecaj ekoloških i strukturnih činilaca na prirodno pomlađivanje prebornih šuma jele i bukve u Gorskom Kotaru. *Šumarski list*, 108 (1984): 391 - 398.
179. **Matić, S.**, 1994: Prilog poznavanju broja biljaka i količine sjemena za kvalitetno pomlađivanje i pošumljavanje. *Šumarski list*, 118 (3 – 4): 71.
180. **Matić, S.**, 1996: Uzgojni radovi na obnovi i njezi sastojina hrasta lužnjaka. U: Klepac D., Dundović J., Gračan J. (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Vinkovci - Zagreb, 1996.: 167 – 212.
181. **Matić, S.**, S. Orlić, M. Harapin, 1996: Sjeme hrasta lužnjaka kao temeljni uvjet nastanka i opstanka lužnjakovih šuma. U: Klepac D., Dundović J., Gračan J. (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Vinkovci - Zagreb, 1996.: 145 – 157.
182. **Matić, S.**, I. Anić, D. Baričević, 2000: The possibility of converting spruce monocultures into autochthonous stands in Croatia. U: Klimo, E., Hager H., Kulhavy J. (ur.), *Spruce monocultures in central Europe*. Joensuu: European Forest Institute, 2000: 35 - 42.
183. **Matić, S.**, M. Oršanić, S. Orlić, I. Anić, 2001: Sjemenarstvo, rasadnička proizvodnja i šumske kulture obične jele. U monografiji *Obična jela u Hrvatskoj*, Matić S., Ž. Ledinski (ur.), Zagreb, 2001.: 375 - 393.
184. **Matić, S.**, I. Anić, M. Oršanić, 2003 a: Uzgojni postupci u bukovim šumama. U monografiji *Obična bukva u Hrvatskoj*, Matić S., Ž. Ledinski, J. Janeš (ur.), Zagreb, 2003., 155 – 163.
185. **Matić, S.**, M. Oršanić, I. Anić, 2003 b: Osnivanje šuma obične bukve. U monografiji *Obična bukva u Hrvatskoj*, Matić S., Ž. Ledinski, J. Janeš (ur.), Zagreb, 2003., 155 – 163.
186. **Mauer, O.**, R. Bagár, E. Palátová, 2008: Response of the Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) root system to changing humidity and temperature conditions of the site. *Journal of Forest Science*, 54 (6): 245 – 254.

187. **McDowell, N.**, W. T. Pockman, C. D. Allen, D. D. Breshears, N. Cobb, T. Kolb, J. Plaut, J. Sperry, A. West, D. G. Williams, E. A. Yezzer, 2008: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178 (4): 719 – 739.
188. **McNulty, S. G.**, J. D. Aber, R. D. Boone, 1991: Spatial changes in forest floor and foliar chemistry of spruce-fir forests across New England. *Biogeochemistry*, 14 (1): 13 - 29.
189. **Menšík, L.**, T. Fabiánek, V. Tesař, J. Kulhavý, 2009: Humus conditions and stand characteristics of artificially established young stands in the process of the transformation of spruce monocultures. *Journal of Forest Science*, 55 (8): 345 – 356.
190. **Melvin, G.**, R. Cannell, 1999: Environmental impacts of forest monocultures: water use, acidification, wildlife conservation, and carbon storage. *New Forests* 17: 239 – 262.
191. **Miles, J.**, 1986: What are the effects of trees on soils? U: Jenkins D., (ur.) *Trees and wildlife in the Scottish uplands*. NERC/ITE, 55 - 62. (ITE Symposium, 17). 1986 NERC. Dostupno na: <http://nora.nerc.ac.uk/5293/> (Pristupila u veljači 2014.)
192. **Mjöfors, K.**, M. - B. Johansson, A. Nilsson, 2007: Input and turnover of forest tree litter in the Forsmark and Oskarshamn areas. SKB Rapport R – 07 - 23. Dostupno na: [www.skb.se](http://www.skb.se). (Pristupila u veljači 2013.)
193. **Modrzyński, J.**, 2003: Defoliation of older Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) stands in the Polish Sudety and Carpathian mountains. *Forest Ecology and Management*, 181 (3): 289 – 299.
194. **Molnar, Zs.**, Z. Botta - Dukat, 1998: Improved space – for - time substitution for hypothesis generation: secondary grasslands with documented site history in SE - Hungary. *Phytocoenologia* 28 (1): 1 - 29. Dostupno na: [www.aslo.org/lo/toc/vol\\_34/issue\\_4/0791.pdf](http://www.aslo.org/lo/toc/vol_34/issue_4/0791.pdf) (Pristupila u kolovozu 2014.)
195. **Müller, K. H.**, S. Wagner, 2002: Root dynamics in gaps of Norway spruce stands in the Ore Mountains. U: Gardiner, E. S., Breland L. J. (ur.), *Proceedings of the IUFRO Conference on Restoration of Boreal and Temperate Forests*, 138 - 139.
196. **Müller, K. H.**, S. Wagner, 2003: Fine root dynamics in gaps of Norway spruce stands in the German Ore Mountains. *Forestry*, 76 (2): 2003.
197. **Muukkonen, P.**, A. Lehtonen, 2004: Needle and branch biomass turnover rates of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 2517 – 2527.

198. **Olofsson, E.**, K. Blennow, 2005: Decision support for identifying spruce forest stand edges with high probability of wind damage. *Forest Ecology and Management* 207: 87 - 98.
199. **Orlić, S.**, 1974: O nekim pitanjima u vezi s proširenjem areala četinjača u nas. *Šumarski list*, 98 (5 – 6): 213.
200. **Orlić, S.**, 1979: Prvi rezultati komparativnog pokusa uzgajanja nekih domaćih i stranih četinjača. *Šumarski list*, 103 (9 – 10): 433.
201. **Orlić, S.**, 1983: Rezultati komparativnog uzgoja nekih domaćih i stranih vrsta četinjača. *Šumarski list*, 107 (3 – 4): 207 - 215.
202. **Orlić, S.**, N. Komlenović, 1987: Uspijevanje šest vrsta četinjača na različitim staništima u Hrvatskoj. U knjizi sažetaka Trećeg kongresa biologa Hrvatske, Mali Lošinj: 1 - 127.
203. **Orlić, S.**, N. Komlenović, P. Hastovski, M. Ocvirek, 1991: Prvi proredni zahvat, produkcija biomase i njezin kemizam u kulturi obične smreke (*Picea abies* Karst.) "Velika Buna". *Radovi šumarskog instituta Jastrebarsko*, 26 (2): 77 - 94.
204. **Orlić, S.**, 1993: Uspijevanje domaćih i stranih vrsta četinjača u mladim kulturama na području bujadnica i vriština Hrvatske. *Radovi šumarskog instituta Jastrebarsko*, 28 (1 - 2): 91 - 103.
205. **Orlić, S.**, N. Komlenović, P. Rastovski, M. Ocvirek, 1997: Uspijevanje šest vrsta četinjača na lesiviranom tlu na području Bjelovara. *Šumarski list* 121 (7 – 8): 361 - 370.
206. **Oršanić, M.**, 1994: Uspijevanje šumskih kultura obične smreke (*Picea abies* /L/ Karst.), crnoga bora (*Pinus nigra* Arn.) i europskog ariša (*Larix decidua* Mili.) na Zagrebačkoj gori. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 98 s.
207. **Oršanić, M.**, 1995: Uspijevanje šumskih kultura obične smreke (*Picea abies* /L./ Karst.), crnoga bora (*Pinus nigra* Arn.) i europskog ariša (*Larix decidua* Mill.) na Zagrebačkoj gori. *Glasnik za šumske pokuse*, 32: 1 - 89.
208. **Oršanić, M.**, 2003: Pošumljavanja, sadašnje stanje i perpektive u globalnom razvoju. *Šumarski list*, posebni broj, 127 (2003): 35 - 40.
209. **Oršanić, M.**, 2001: Strukturne osobine i dinamika šumskih sastojina obične smreke (*Picea abies* (L.) Karst.) na sjevernom Velebitu. Disertacija, Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu.

210. **Ostrogović, M. Z.**, K. Sever, I. Anić, 2010: Utjecaj svjetla na prirodno pomlađivanje hrasta lužnjaka (*Quercus Robur* L.) u park - šumi Maksimir u Zagrebu. Šumarski list, 134 (3 – 4): 115 - 123.
211. **Oulehle, F.**, J. Hofmeister, J. Hruška, 2007: Modeling of the long - term effect of tree species (Norway spruce and European beech) on soil acidification in the Ore Mountains. Ecological modeling, 204: 359 – 371.
212. **Owston, P.W.**, 1990: Target seedling specifications: are stocktype designations useful? U: Rose R., Campbell S. J., Landis T. D. (ur.), Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Assoc. Target Seedling Symposium, August 13 – 17, 1990, Roseburg, Oregon. USDA RM For. and Range Exp. Station Gen. Tech. Rep. RM-200. pp. 9 – 16. Dostupno na: [http://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_rm/rm\\_gtr200/rm\\_gtr200\\_009\\_016.pdf](http://www.fs.fed.us/rm/pubs_rm/rm_gtr200/rm_gtr200_009_016.pdf). (Pristupila 03. travnja 2014.)
213. **Peltola, H.**, S. Kellomäki, H. Väisänen, 1999: Model computations of the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. Climatic Change, 41: 17 - 36.
214. **Peltola, H.**, 2006: Mechanical stability of trees under static loads. American Journal of Botany, 93 (10): 1501 - 1511.
215. **Perić, S.**, S. Orlić, M. Ivanković, 2004: Growth of six coniferous species in different bioclimates in Croatia. Ekologia (Bratislava), 23 (1): 86 - 98.
216. **Perić, S.**, S. Orlić, A. Dokuš, 2006: Pregled osnovanih pokusa provenijencija i kultura četinjača Šumarskog instituta, Jastrebarsko. Radovi šumarskog instituta Jastrebarsko, 41 (1 - 2): 115 - 126.
217. **Perić, S.**, I. Seletković, J. Medak, I. Pilaš, V. Topić, 2006: Istraživanje uspijevanja šest vrsta četinjača u ekološki karakterističnim regijama Hrvatske. Radovi šumarskog instituta Jastrebarsko, izvaredno izdanje, 9: 99 - 108.
218. **Perić S.**, M. Tijardović, M. Oršanić, J. Margaletić, 2010: Rasadnička proizvodnja i važnost šumskoga reprodukcijiskog materijala u RH. Radovi Hrvatskog šumarskog instituta, 44 (1): 17 - 27.
219. **Pernar, N.**, D. Bakšić, I. Perković, 2013: Terenska i laboratorijska istraživanja tla – priručnik za uzorkovanje i analizu. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013.
220. **Pernek, M.**, 2001: Analiza biološke učinkovitosti feromonskih pripravaka i tipova klopki namijenjenim lovu smrekinih potkornjaka *Ips typographus* i *Pityogenes chalcographus*



L. (Col., *Scolytidae*) u smrekovim kulturama Papuka i Trakošćana. Magistarski rad. str 1 – 134.

221. **Perković, I.**, N. Pernar, B. Vrbek, D. Bakšić, I. Pilaš, M. Presečan, 2007: Utjecaj kulture obične smreke na tlo. Radovi Hrvatskog šumarskog instituta, 42 (2): 95 – 107.

222. **Petritan, I. C.**, B. von Lupke, A. M. Petritan, 2011: Fine roots of overstory Norway spruce (*Picea abies*): distribution and influence on growth of underplanted beech (*Fagus sylvatica*) and Douglas - fir (*Pseudotsuga menziesii*) saplings. Forest Systems, 20 (3): 407 - 419.

223. **Podrázský, V.**, 1996: Silvicultural effects on soil organic matter: preliminary results. Lesnictví - Forestry, 42: 237 – 241.

224. **Podrázský, V.**, J. Procházka, 2009: Effects of the reforestation of agricultural lands on the humus form development in the middle altitudes. Scientia Agriculturae Bohemica, 40 (1): 41 – 46.

225. **Podrázský, V.**, J. Remeš, V. Hart, W. K. Moser, 2009: Production and humus form development in forest stands established on agricultural lands – Kostelec nad Černými lesy region. Journal of Forest Science, 55 (7): 299 – 305.

226. **Pommerening, A.**, 2006: Transformation to continuous cover forestry in a changing environment. Forest Ecology and Management, 224 (3): 227 - 228.

227. **Prescott, C. E.**, L. L. Blevins, C. Staley, 2004: Litter decomposition in British Columbia forests: Controlling factors and influences of forestry activities. BC Journal of Ecosystems and Management, 5 (2): 44 – 57. Dostupno na: [www.forrex.org/jem/2004/vol5/no2/art6.pdf](http://www.forrex.org/jem/2004/vol5/no2/art6.pdf). (Pristupila u veljači 2011.)

228. **Pretzsch, H.**, 2013: Facilitation and competition in mixed - species forests analyzed along an ecological gradient. Nova Acta Leopoldina, 114 (391): 159 – 174.

229. **Pretzsch, H.**, P. Biber, G. Schutze, K. Bielak, 2013: Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long - term observational plots and their relevance for forest ecology and management. Forest Ecology and Management, 267: 74 – 92.

230. **Pretzsch, H.**, J. Block, J. Dieler, P. H. Dong, U. Kohnle, J. Nagel, H. Spellmann, A. Zingg, 2012: Comparison between the productivity of pure and mixed stands of Norway spruce and European beech along an ecological gradient. Ann. Forest Sci., 67.

231. **Pretzsch, H.**, G. Schütze, 2009: Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. *European Journal of Forest Research* (2009) 128: 183 – 204.
232. **Pretzsch, H.**, 2005: Diversity and productivity in forests. U: Scherer - Lorenzen M., Körner C., Schulze E. - D. (ur.): *Forest Diversity and Function*. *Ecol. Studies*, 176: 41 – 64.
233. **Pretzsch, H.**, 2003: The elasticity of growth in pure and mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Forest Science*, 49 (11): 491 – 501.
234. **Prévosto, B.**, Ph. Balandier, 2007: Influence of nurse birch and Scots pine seedlings on early aerial development of European beech seedlings in an open - field plantation of Central France. *Forestry*, 80 (3): 253 - 264.
235. **Priha, O.**, T. Lehto, A. Smolander, 1999: Mycorrhizas and C and N transformations in the rhizospheres of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* seedlings. *Plant and Soil* 206: 191 - 204.
236. **Przybył, K.**, P. Karolewski, J. Oleksyn, A. Łabędzki, P. B. Reich, 2007: Fungal diversity of Norway spruce litter: effects of site conditions and premature leaf fall caused by bark beetle outbreak. *Microb Ecol.*, 56 (2): 332 - 340.
237. **Prskawetz, M.**, K. Schadauer, 2000: Conditions for forest restoration in Austria analysis based on forest inventory data. U: Hasenauer H. (ur.), *Forest ecosystem restoration: ecological and economical impacts of restoration processes in secondary coniferous forests*. *Proceedings of the International Conference, Vienna, Austria, 10. -12. 4. 2000*: 223 - 228.
238. **Remeš, J.**, 2006: Transformation of even - aged spruce stands at the School Forest Enterprise Kostelec nad Černými lesy: Structure and final cutting of mature stand. *Journal of forest science*, 52 (4): 158 – 171.
239. **Ritchie, G. A.**, Y. Tanaka, 1990: Root growth potential and the target seedling. U: Rose R., Campbell S. J., Landis T. D. (ur.), *Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest 292 Nursery Assoc. Target Seedling Symposium, 13. – 17. 08. 1990, Roseburg, Oregon*. *USDA RM For. and Range Exp. Station Gen. Tech. Rep. RM - 200*: 37 – 51. Dostupno na: <http://admin.rngr.net/publications/proceedings/1990/ritchie.pdf>. (Pristupila 25. ožujka 2014.)

240. **Ritter, E.**, L. Vesterdal, P. Gundersen, 2003: Changes in soil properties after afforestation of former intensively managed soils with oak and Norway spruce. *Plant and Soil*, 249 (2): 319 – 330.
241. **Roberts, T. M.**, R. A. Skeffington, L. W. Blank, 1989: Causes of type 1 spruce decline in Europe. *Forestry*, 62 (3): 179 - 222.
242. **Rosenqvist, L.**, 2007: Afforestation of former arable land in north - western Europe: nitrate leaching, carbon sequestration and water recharge. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Forest Soils, Uppsala, Švedska.
243. **Rothe, A.**, D. Binkley, 2001: Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 31: 1855 – 1870.
244. **Rouifed, S.**, I. T. Handa, J. F. David, S. Hättenschwiler, 2010: The importance of biotic factors in predicting global change effects on decomposition of temperate forest leaf litter. *Oecologia*, 163 (1): 247 -256.
245. **Salamon, J. - A.**, V. Wolters, 2009: Nematoda response to forest conversion. *European journal of soil biology*, 45 (2009): 184 - 191.
246. **Sariyildiz, T.**, A. T. Feküoğlu, K. Mehmet, 2005: Comparison of decomposition rates of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and Spruce (*Picea orientalis* (L.) Link) litter in pure and mixed stands of both species in Artvin, Turkey. *Turk J Agric For*, 29: 429 - 438.
247. **Seidl, R.**, Rammer, W., & Blennow, K., 2014: Simulating wind disturbance impacts in forest landscapes: Tree - level heterogeneity matters. *Environmental Modeling and Software*, 51: 1 – 11.
248. **Schume, H.**, G. Jost, H. Hager, 2004: Soil water depletion and recharge patterns in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. *Journal of Hydrology*, 289 (1 - 4): 258 - 274.
249. **Schmid, I.**, M. Kazda, 2000: Distribution of Norway spruce roots in monocultures and in mixtures with European beech. U: H. Hasenauer (ur.), Proceedings of the International Conference on Forest Ecosystem Restoration - Ecological and Economical Impacts of Restoration Processes in Secondary Coniferous Forests, 10. – 12. 4. University of Agricultural Sciences, Vienna: 241 – 246.
250. **Schulze, E. - D.**, 1989: Air Pollution and Forest Decline in a Spruce (*Picea abies*). *Forest Science* 244: 776 – 783.

251. **Scherer – Lorenzen, M.**, C. Körner, E. - D. Schulze, 2005: Forest Diversity and Function. Ecol. Studies, 176. Dostupno na: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c09/e4-27-02-01.pdf>. (Pristupila 18. rujna 2014.)
252. **Slodičák, M.**, J. Novák, 2003: Thinning experiments in Norway spruce stands after 40 years of investigation – 1<sup>st</sup> series. Journal of Forest Science, 49 (2): 45 – 73.
253. **Slodicak, M.**, J. Novak, J. P. Skovsgaard, 2005: Wood production, litter fall and humus accumulation in a Czech thinning experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Forest Ecology and Management, 209: 157 – 166.
254. **Slodicak, M.**, J. Novak, 2006: Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion. Forest Ecology and Management, 224 (3): 252 - 257.
255. **Smolander, A.**, V. Kitunen, L. Paavolainen, E. Malkonen, 1996: Decomposition of Norway spruce and Scots pine needles: Effects of liming. Plant and Soil, 179: 1 - 7.
256. **Sokal, R. R.**, F. J. Rohlf, 1995: Biometry, Freeman and Company, New York.
257. **South, D.**, J. B. Zwolinski, 1996: Transplant stress indeks: A proposed method of quantifying planting check. New forests 13: 311 - 324.
258. **Spiecker, H.**, 2000 a: Growth of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under changing environmental conditions in Europe. U: Klimo et al (ur.) Spruce monocultures in Europe – Problems and Prospects: 11 – 26.
259. **Spiecker, H.**, 2000 b: The growth of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in Europe within and beyond its natural range. U: Hesenaus H. (ur.), International Conference on Forest Ecosystem Restoration. Ecological and Economic Impacts of Restoration Process in secondary coniferous Forests. Proceedings of the International Conference held in Vienna, Austria, 10.-12. 4. 2000: 247 - 256.
260. **Spiecker, H.**, K. Mielikäinen, M. Köhl, J. P. Skovsgaard (ur.), 1996: Growth trends of European forests: Studies from 12 countries. European Forest Institute Research Report 5. Springer Verlag. XI: 372.
261. **Spiecker, H.**, J. Hansen, E. Klimo, J. P. Skovsgaard, H. Sterba, K. Von Teuffel, 2004 a: Norway spruce conversion – Options and consequences. EFI Research Report 18. Leiden, Boston: S. Brill: 269.

262. **Spiecker, H.**, J. Hansen, H. Hasenauer, E. Klimo, J. P. Skovsgaard, H. Sterba, K. von Teuffel, 2004 b: Norway Spruce Conversion in Europe: An Open Question? U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, Von Teuffel (ur.), Norway spruce conversion – Options and consequences, European Forest Institute Research Report 18: 1 - 4.
263. **Spiecker, H.**, J. Hansen, E. Klimo, J. P. Skovsgaard, H. Sterba, K. Von Teuffel, 2004 c: Conclusions. U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, Von Teuffel (ur.), Norway spruce conversion – Options and consequences, European Forest Institute Research Report 18, 2004, Brill, Leiden – Boston: 261 - 264.
264. **Spiecker, H.**, J. Hansen, E. Klimo, J. P. Skovsgaard, H. Sterba, K. von Teuffel, 2004 d: Summarising discussion. U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, von Teuffel (ur.), Norway spruce conversion – Options and consequences, European Forest Institute Research Report 18, 2004, Brill, Leiden – Boston: 253 - 260.
265. **Spittlehouse, D. L.**, R. B. Stewart, 2003: Adaptation to climate change in forest management. *BC J. Ecosyst. Manage.*, 4 (1): 1 – 11.
266. **Städtler, H.**, H. Melles, 1999: Bucheckern - Voraussaat – eine kostengünstige Alternative? *Allgemeine Forst Zeitschrift / Der Wald* 54: 945 - 946.
267. **StatSoft, Inc.**, 2007: Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.
268. **Subke, J. A.**, V. Hahn, G. Battipaglia, S. Linder, N. Buchmann, M. F. Cotrufo, 2004: Feedback interactions between needle litter decomposition and rhizosphere activity. *Oecologia*, 139: 551 – 559.
269. **Šafar, J.**, 1963: Ekonomski i biološki temelji za uzgajanje šuma. Savez šumarskih društava Hrvatske, Zagreb, 598.
270. **Špiranec, M.**, 1976: Tablice drvnih masa jele i smreke. Šumarski institut, Jastrebarsko: 45 - 60.
271. **Škorić, A.**, 1982: Priručnik za pedološka istraživanja. Zagreb.
272. **Tijardović, M.**, S. Perić, 2013: Croatian Norway spruce cultures in European concept of culture management. *Periodicum biologorum*, 115 (3): 355 - 361.
273. **Teuffel, K. von**, B. Heinrich, M. Baumgarten, 2004: Present distribution of secondary Norway spruce in Europe. U: Spiecker, Hansen, Klimo, Skovsgaard, Sterba, von Teuffel (ur.),

Norway spruce conversion - Options and consequences. European Forest Research Institute Research Report 18: 63 - 96.

274. **Tham, A.**, 1994: Crop plans and yield predictions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh.) mixtures. *Studia Forestalia Suecica*, No. 195: 1994.

275. **Tjoelker, M. G.**, A. Boratynski, W. Bugala (ur.), 2007: Biology and ecology of Norway spruce. *Forestry sciences*, vol. 78, Springer, s 469.

276. **Tomić, F.**, T. Krička, S. Matić, 2008: Raspoložive poljoprivredne površine i mogućnosti šuma za proizvodnju biogoriva u Hrvatskoj. *Šumarski list*, 132 (7 – 8): 323.

277. **Tonković, M.**, 2014: Strukturne značajke šumskih sastojina obične smreke (*Pices abies* (L.) Karst.) na Bjelolasici. Završni specijalistički rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

278. **Vaughn, N.**, 2007: An individual - tree model to predict the annual growth of young stands of Douglas - fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) in the Pacific Northwest. Masters thesis, University of Washington.

279. **Vavříček, D.**, P. Samec, P. Šimková, 2005: Soil properties as a component of predisposition factors of Norway spruce forest decline in the Hanušovická highland mountain zone. *Journal of Forest Science*, 51 (12): 527 – 538.

280. **Vidaković, M.**, J. Franjić, 2004: Golosjemenjače. Sveučilište u Zagrebu, 3. izdanje, Zagreb, 2004: 823.

281. **Vopravil, J.**, V. Podrázský, T. Khel, O. Holubík, S. Vacek, 2014: Effect of afforestation of agricultural soils and tree species composition on soil physical characteristics changes. *Ekologia*, 33 (1): 67 – 80.

282. **Wagner, S.**, 1998: Calibration of grey values of hemispherical photographs for image analysis. *Agric For Meteorol*, 90: 103 – 117.

283. **Wagner, S.**, P. Madsen, Ch. Ammer, 2009: Evaluation of different approaches for modelling individual tree seedling height growth. *Trees*, 23: 701 – 715.

284. **Wetterstedt, M.**, 2010: Decomposition of organic matter in soil: Experimental and Modelling Studies of the Importance of Temperature and Quality. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala 2010.

285. **Wilde, S. A.**, 1958: Forest soils – Their properties and relation to silviculture. The Roland Press Company, New York: 537.

- 
286. **Willoughby, I.**, R. Jinks, P. Gosling, G. Kerr, 2004: Creating New Broadleaved Woodland by Direct Seeding. Forestry Commission, Edinburgh: 1 - 32.
287. **Wonn, H. T.**, K. L. O'Hara, 2001: Height - diameter ratios and stability relationships for four northern Rocky Mountain tree species. *West. J. Appl. For.* 16 (2): 87 - 94.
288. **Zerbe, S.**, 2001: Restoration of natural broad - leaved woodland in Central Europe on sites with coniferous forest plantations. *Forest Ecology and Management*, 151 (1 - 3): 181 - 193.
289. **Zeng, H.**, T. Pukkala, H. Peltola, 2007: The use of heuristic optimization in risk management of wind damage in forest planning. *Forest Ecology and Management*, 241: 189 - 199.
290. **Zeng, H.**, J. García - Gonzalo, H. Peltola, S. Kellomäki, 2010: The effects of forest structure on the risk of wind damage at a landscape level in a boreal forest ecosystem. *Annals of Forest Science*, 67 (1): 111.
291. **Zhang, Y.**, J. M. Chen, J. R. Miller, 2005: Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133: 166 - 181.

**10. SUMMARY**



At present, Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) is the most widespread tree species in Europe and also tree species which cannot be avoided by Croatia's forestry. This tree species possesses minimum environmental requirements and large wood production. Nevertheless, it has been the subject of numerous discussions during the last century, not only because of its good characteristics. Diverse biotic and abiotic influences, especially climatic disturbances (e.g. storms), resulted in significant economic losses and negative environmental consequences. These have only emphasized the instability of spruce monocultures that have been in most cases established in large areas and outside of their natural range.

Almost all European countries have specific reasons for conversion of Norway spruce cultures and that is also the case with the Republic of Croatia. While problems which derive from intensive site exploitation and decline in biodiversity present basic reasons for conversion in most countries, in the Republic of Croatia Norway spruce is only used for afforestation purposes. Conversion issues have been the aim of silvicultural and pedological researches in European countries for several decades because conversion is a time - consuming and complicated process. Results of conversion can be completely visible only after a longer period of time. The need for the establishment of forest cultures will be emphasized in the future. It was determined that Norway spruce was the best tree species for afforestation among all other autochthonous tree species in Croatia already in the twentieth century. This species is especially suitable for afforestation of fern and heath areas in the central part of the country.

Characteristics of Norway spruce cultures, as well as natural Norway spruce stands, are the retardation of organic matter decomposition and its accumulation on a forest floor. Thickness and weight of a humus layer depend on site conditions and stand's biomass. They range from 0.7 cm to 15 cm, that is from 12 to 168 t ha<sup>-1</sup>. Influence of Norway spruce culture on site characteristics could be negative, but that has not been confirmed by all studies. It depends on numerous factors, especially previous land use. Some authors have found decrease of pH values in the organic and surface mineral soil layer, but no other significant changes have been found. Nevertheless, in comparison with natural beech forest, the forest floor of Norway spruce culture shows a change from the mull to mor humus type with the possibility of podzolization, water regime disturbance, decrease in exchangeable nutrients in surface layers, increase in C/N ratio, decrease in the percentage of ammoniacal nitrogen that changed into nitrate, and acidification of the surface humus layer.

If we compare site characteristics in monocultures with characteristics of land which has been without a forest cover for a longer period of time, we can conclude that its influence is favourable. Beneficial influence of Norway spruce on a site, but also on the next generation of

a stand (ameliorative role), is evident in humisation of the surface layer and increase in organic matter in all forms and soil layers, enhancement of soil physical properties (increase in soil porosity), formation of a favourable microclimate, soil protection against erosion and intensive weed occurrence. All above - mentioned negative changes of site characteristics are already present in the second consecutive generation of a Norway spruce culture. Conversion of forest cultures used for amelioration is necessary at the end of a rotation period because they do not present ecological and economic optimum for a specific area.

Even though Norway spruce is one of the most studied tree species in the Republic of Croatia, it is interesting to point out that there are almost no studies dealing with conversion of Norway spruce cultures. The exception is research of Matić et al (2000) which revealed the first results of the conversion of spruce monoculture by seeding with *Abies alba* on one of the localities in the Gorski Kotar region. Research of Dubravac et al (2008) examines successional processes and structure development in a 161-year-old spruce culture, while research of Perković et al (2007) explores the pedological aspect of a raw humus formation in the Vrbovac area, thus providing comparison of created conditions with a natural stand.

According to the internationally accepted definition, conversion presents a change of tree species composition and/or the structure of a forest culture through the activities of forest management. In the Republic of Croatia the change of tree species in a forest stand is called „substitution“ and it has already been well known for a long time. Different ways and methods of conversion (“substitution”) can be applied depending on specific site conditions, characteristics of forest culture that is to be converted and basic management aims. From silvicultural point of view, conversion can be conducted under the shelterwood of spruce trees or after the total removal of trees, which presents a simpler method, thus called plain conversion. There are also different means of site preparation for this kind of silvicultural intervention. Some possible methods include mechanical preparation of humus and upper mineral layers, weed control, controlled burning of accumulated organic matter, liming or the introduction of beech leaf litter. All of these site preparation techniques aim to initiate and accelerate microbiological succession.

Results provided by this research present a scientific contribution in the field of silviculture. Since there are only few studies of Norway spruce culture conversion, this research provides basic knowledge of current conversion needs, risks, methods, and site preparation techniques. Research provides basic guidelines for afforestation with Norway spruce, the management of spruce cultures, and guidelines for conversion of this species' present and future forest cultures. The basic hypothesis of research is that Norway spruce forest cultures in the Republic

of Croatia could successfully be replaced with climax tree species at the end of the rotation period. Moreover, it is assumed that possible negative effects of organic matter accumulation in forest cultures can be mitigated with silvicultural activities and do not present an obstacle for the survival and success of climax tree species. The basic goal of this research is to test the success of basic conversion (“substitution”) methods along with the decrease in economic, social and environmental risks during a conversion process. Structural elements of selected Norway spruce forest cultures and the ability of shelterwood conservation during conversion have been determined as well. In addition, the aim is to answer the question whether conversion can be carried out with climax species in areas where beneficial influence of the shelter provided by old spruce trees is lost due to storm events or bark beetle attacks. If the answer is no, one will need to establish forest cultures using pioneer or transitional tree species which will ameliorate microclimatic conditions. Research also determines if there is a need for mechanical preparation of accumulated organic matter on a forest floor before sowing or planting. In addition, optimal techniques have been tested.

Trial plots were established in different vegetation belts in the central part of the Republic of Croatia in which afforestation with Norway spruce will be justified in the future and where forest cultures can currently be found. These trial plots were established in the area of the Forest Administration offices in Zagreb and Karlovac. The trial plots in the Zagreb area were established on Bistranska gora (Zagreb office) and Pregrada - Klanjec (Krapina office) localities, while trial plots in the Karlovac area were established on Gornja Kupčina (Jastrebarsko office) and Doljani (Ozalj office) localities. All trial plots were used for monitoring of the success of different conversion methods, as well as their impact on the amount of raw organic matter as one of crucial influences of a Norway spruce culture on a site. Some trial plots were established with the purpose of monitoring natural tree and shrub vegetation succession processes. These processes on the plots without human activities were monitored under shelterwood conditions (thinning under the principles of seeding felling), after sanitation cutting of Norway spruce culture, in forest gaps and at stand edges. Research encompasses insight into successive processes of natural vegetation on all localities. Seeding under shelterwood was applied on Pregrada - Klanjec, Gornja Kupčina, and Bistranska gora localities. Trial plots for monitoring of seeding and planting success after plain substitution were established on Gornja Kupčina, Doljani, and Bistranska gora localities. Planting in canopy gaps was conducted on the Bistranska gora locality.

Samples of organic matter (O - i, O - e, O - a or L -, F - i H - layer) were collected with the aim of determining the amount and decomposition rate of organic matter which was accumulated on the forest floor. Samples were collected on localities where seeding and planting were carried out (Bistranska gora, Doljani, Gornja Kupčina) at the beginning (in 2010) and at the end of the research period (in 2012) after the completion of silvicultural activities. Mineral soil composite samples were collected on the linear transect of a Latin square on all trial plots. These samples present non - systematic statistical samples. They were collected on depths of 0 - 15 and 15 - 30 cm and they were also collected on all localities where seeding and planting was carried out (Bistranska gora, Doljani, Gornja kupčina). This depth was determined to correspond with the depth of the root system of seedlings since soil is the crucial environment for survival and seedlings' success. A laboratory analysis was conducted at the Laboratory for Physical and Chemical Testing of the Croatian Forest Research Institute.

Proper tree species selection depends on the vegetation belt of natural forest vegetation in which a trial plot is situated and on the particularities of each site. A specific site could ecologically be described with the identification of forest communities that are present in the immediate vicinity of a forest culture. Therefore, as a prerequisite for species selection, phytocoenological exploration was conducted on all localities based on which, three basic vegetation belts were identified:

1. Sessile oak vegetation belt - Gornja Kupčina and Pregrada - Klanjec localities
2. European beech vegetation belt - Doljani locality
3. European beech and European silver fir vegetation belt - Bistranska gora locality

After the identification of aimed climax species, forest reproductive material was obtained, tested and prepared for seeding and planting. Tending of all plants in the trial was conducted regularly from the establishment of trial plots (the beginning of 2010) until the end of the planned research period (in 2013). Every year, at the end of a vegetation period, plants on trial plots were measured in detail and their health status was determined. Seedlings were monitored individually during a four - year period thanks to a unique code that was assigned to every plant included in the trial. Quality and quantity of light under the canopy was determined by the use of hemispherical photographs. Hemispherical photographs were taken above each trial plot on the Bistranska gora locality on plots established under the Norway spruce canopy.

Numerous influences affect the survival and growth of a young generation during conversion. Success of conversion depends on the structure of a forest culture, its stability against abiotic and biotic influences, health condition of every tree in a stand, site ability to accept

climax tree species, physical and chemical characteristics of mineral soil, amount and chemical properties of a forest floor, the correct selection of a conversion method, the type and quality of forest reproduction material and a site preparation technique. Conversion is an expensive and complex silvicultural measure. In order to succeed it should be planned well, hence, a silviculturist must define:

- Activities in the old stand (forest culture) aiming to bring light to the forest floor
- Selection of species for conversion
- Arrangement and mixture of tree species that will be introduced into a forest culture
- Soil preparation techniques
- Means of establishment (seeding or planting)
- Size and age of planting material.

Risk assessment of site potential should be the first step that will precede conversion. One of the most important risks is drought risk. Risks related to a forest culture refer mainly to its stability against wind and storm events. Stability is crucial at the end of a rotation period when Norway spruce has to provide optimal light and thermal conditions for growth and development of a future generation. Conducted research on the structure of forest cultures confirmed high instability of forest cultures, which is the result of inappropriate and insufficient thinnings. Other researchers throughout Europe also identified high risks during conversion of Norway spruce cultures. Nevertheless, it is important to highlight that aforementioned risks could be decreased or even completely avoided. Namely, correct site selection and afforestation techniques could provide that. Appropriate tending during a whole rotation period is crucial. Establishment of more stable mixed forest cultures presents a unique way for one to avoid or lower risks. Mixtures of Norway spruce and broadleaved tree species present a good choice. Only 20 - 40 % of broadleaves in species mixture is sufficient for good stability against abiotic and biotic influences. Numerous scientific studies confirm that mixed forest cultures support environmental, economic and sociocultural benefits and functions in the same way or even better than monocultures. A mixture of Norway spruce and European beech or silver birch could prove to be a good species mixture during the establishment of forest cultures. In lower areas, a mixture of Norway spruce and sycamore maple or small - leaved lime is a good solution.

The appearance of climax tree species in a process of undisturbed natural development was already found in the first year after the removal of all examined intensities of the canopy on plots (without thinning, in forest gaps, clear cut). Therefore, it can be concluded that for the appearance of these species light conditions are more important than the amount of organic

matter accumulated on a forest floor. Insight into a species mixture on trial plots established under shelterwood showed appearance of climax species, even though supporting tree species prevailed. The appearance of climax tree species in forest cultures, which are in unsatisfactory condition, have a disturbed structure and with a larger amount of litterfall, supports the hypothesis that conditions of raw needle litter in fifty-year-old forest cultures do not limit their appearance. Climax tree species need to be supported by silvicultural interventions in case of a larger canopy opening. That lays emphasis on tending (cleaning) as an unavoidable measure in the new generation of a forest stand. Results of research undoubtedly prove that the amount of climax tree species, which have spontaneously emerged under the Norway spruce canopy, is not sufficient for conversion.

The total amount of organic matter on a forest floor ranges from 79 to 106 t ha<sup>-1</sup> and it increases with the increase of altitude from the sessile oak vegetation belt to beech and fir areas. The comparison of explored conversion methods within each locality brings to the conclusion that applied methods, which opened the canopy of the forest culture, create favourable microclimatic conditions for organic matter turnover. This statement has been confirmed by similar international studies. Thinned forest cultures offer higher insolation, higher temperature and precipitation when compared to those that have not been thinned. Newer scientific research stresses the significance of microclimatic condition and reduces the importance of litter quality for organic matter turnover. Four years after the total canopy removal, almost all needle litter disappeared on all localities, but there was a significant increase in weeds in organic matter samples, which again have lower quality for turnover (more resistant compounds).

Comparison of chemical elements, such as nitrogen (N) and carbon (C), showed that Norway spruce did not have negative influence on the mineral layer on the depths of up to 15 (0 - 15 cm) and 30 cm (15 - 30 cm). The depth of mineral soil of up to 30 cm is a significant layer in which young plants develop root systems immediately after outplanting and is therefore crucial for the success of their survival and growth. It can be concluded that past research on the impact of Norway spruce cultures on site characteristics is supported by these results and that Norway spruce cultures have mainly negative influence on organic layers.

The analysis of plant survival and success with different substitution methods (under shelterwood, canopy gaps, plain conversion), with both seeding and planting, has without a doubt shown that plain substitution gives the lowest results on all localities. Therefore, this method is not recommended for conversion of Norway spruce cultures in the Republic of Croatia. The use of the shelterwood method gives the best results for Norway spruce culture conversion. Research on plain substitution was conducted in spite of the already known disadvantages

caused by problems with the securing of a canopy cover throughout the conversion process. The aim was to explore silvicultural possibilities in cases when it is impossible for one to withhold the integrity of a forest culture canopy, which are predicted to be more and more frequent due to climatic disturbances not only in cultures, but natural stands as well. If the success of conversion is uncertain due to numerous limiting factors, it is strongly recommended for one to establish a new forest culture (a mixed one) with a bigger share of broadleaved tree species.

One of crucial influences for the success of Norway spruce culture conversion is a timely and long-term tending (thinnings) during the whole rotation period, together with the tending of seedlings and saplings of spontaneously emerged or introduced autochthonous tree species. The tending of forest cultures has positive influence on their general stability, as well as on organic matter turnover. The seeding of European beech under a canopy turned out to be a cheap and efficient conversion technique. As vertical natural distribution of European beech is concerned, this method is strongly recommended for further and frequent use. Organic matter (needle litter) accumulation and soil acidification up to 5 cm in depth did not negatively affect seedlings' growth when plain conversion was applied. When the shelterwood method and the seeding of European silver fir were applied, acidification of the upper organic layer presented an obstacle and therefore this method should be avoided. Weed occurrence presents an immense difficulty during conversion. Its seeds lie in surface soil layers (up to 30 cm in depth) and await favourable conditions for emergence (*Rubus* sp.). Therefore, regulation of light availability on a forest floor is of an utmost importance and the selection of conversion method will greatly depend upon light conditions.

The establishment of Norway spruce forest cultures in the vegetation belt of sessile oak should be avoided in the future because of adverse environmental conditions and increasingly pronounced climate changes, which will certainly constrain the success of the establishment of new forest cultures, as well as subsequent conversion ("substitution"). The establishment of Norway spruce cultures in the European beech and European silver fir vegetation belt is still justified. Current ecological and climatic circumstances favour the establishment of new forest cultures of Norway spruce which is regarded as a valuable and highly productive tree species.

---

**ŽIVOTOPIS**

Martina Tijardović, dipl. ing., rođena je 1980. godine u Zagrebu gdje je pohađala osnovnu školu (1987. - 1995.). 1999. godine završava X. gimnaziju. 1999. godine upisuje studij na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a diplomira 2005. godine na kolegiju Šumarska fitocenologija. Pripravnički staž odraduje u Hrvatskim šumama, nakon čega obavlja posao revirnika. Od siječnja 2008. godine zaposlena je kao znanstvena novakinja - asistentica na Hrvatskom šumarskom institutu, na Zavodu za uzgajanje šuma. Radni odnos započela je na projektu „Očuvanje stabilnosti i produktivne sposobnosti šumskih kultura“, voditeljica projekta: dr. sc. S. Perić, šifra projekta: 024 – 0682041 - 2098). 2009. godine upisuje postdiplomski doktorski studij na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (tema disertacije: „Supstitucija kultura obične smreke u Hrvatskoj“).

U popis znanstvenika i istraživača Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa upisana je pod registarskim brojem 300 391.

Sudjeluje na više znanstvenih skupova, radionica te kraćih usavršavanja u zemlji i inozemstvu. Od 23. - 28. lipnja 2008. boravi na radionici u Mediteranskom Agronomskom Institutu (Chania, Grčka), a od 22.05.2009.-23.06.2009. na usavršavanju u Finskom šumarskom institutu (*Finnish forest research institute, Metla*). Suvoditeljica je projekata „Stanje šumskih kultura s posebnim osvrtom na zahvate supstitucije“ i „Smjernice gospodarenja šumskim kulturama u Republici Hrvatskoj i značaj koncepta mješovitosti kao mjera prilagodbe na klimatske promjene“ („Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb). Suradnica je na više nacionalnih projekata („Hrvatske šume” d. o. o., Zagreb: „Gospodarenje kulturama četinjača u RH“ i „Gospodarenje kulturama na krškim poljima u Lici“; „Holcim” d.o.o.: „Pokusno polje za biološku sanaciju kamenoloma Očura II autohtonim vrstama drveća i grmlja“; JU PP Velebit: „Uspostavljanje monitoringa stanja šumskih ekosustava u parku prirode Velebit“, ...). Surađivala je te suraduje i na međunarodnim projektima COST Akcija FP0703 ECHOES, COST Akcija FP1202 MaPFGR i COST Akcija FP1206 EuMIXFOR. U 2008. godini sudjeluje u FP 7 projektu u sklopu programa „Cooperation” – Call ID „FP7 – KBBE – 2008 - 2B) - Prijedlog br. 226410 EDES (*Enhancement of Dendromass Energy from Short Rotation Carbon Forestry*). Kao autor i koautor objavljuje više znanstvenih članaka. Članica je Hrvatskog šumarskog društva, Hrvatskog biotehnološkog društva i Hrvatske udruge za arborikulturu te aktivno sudjeluje u izvođenju terenske nastave studenata Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Govori engleski, njemački i talijanski jezik. Udata je, ima dvoje djece i živi u Zagrebu.



## CURRICULUM VITAE

Martina Tijardović (PhD student) was born in 1980 in Zagreb where she attended a K-8 and grammar school. In 1999, she enrolled in the forestry programme at the Faculty of Forestry of the University in Zagreb. After graduating in 2005, she worked at Croatian Forests Ltd. for three years. She has been working as a PhD student - assistant at Croatian Forest Research Institute, Silviculture Department since January 2008. She started her scientific work on the project titled „Preservation of Stability and Productive Ability of Forest Cultures“ (code: 024-0682041-2098). In 2009, Tijardović began her PhD studies at the Faculty of Forestry of the University in Zagreb (the dissertation is titled „Substitution of Spruce Monocultures in Croatia“).

She is on the register of scientists and researchers of the Ministry of Science, Education and Sports, membership number 300 391.

She has attended several scientific conferences, workshops and shorter specializations in Croatia and abroad. In 2008, she participated in a workshop at Mediterranean Agronomic Institute (Chania, Greece) and completed short specialization at Finnish Forest Research Institute (Metla) in 2009. She is a co-leader of projects titled “Condition of forest cultures with special reference to substitution activities” and “Guidelines of forest culture management in the Republic of Croatia and significance of the concept of species mixtures as an adaptation measure to climate changes”. As an associate, Tijardović has participated in several national projects and international COST projects: FP0703 ECHOES, FP1202 MaPFGR and FP1206 EuMIXFOR. During 2008, she participated in the FP7 project within the framework of the “Cooperation” programme – Preposition no. 226410 EDES (Enhancement of Dendromass Energy from Short Rotation Carbon Forestry). She has published a number of scientific papers, both as an author and a co - author. She is a member of Croatian Forestry Society, Croatian Society of Biotechnology and Croatian Arboricultural Society, and has participated actively in several field education courses at the Faculty of Forestry. Tijardović speaks English, German and Italian. She is married and has two children. She lives in Zagreb.

---

**POPIS OBJAVLJENIH DJELA**

1. Drvodelić D., M. Oršanić, S. Perić, **M. Tijardović**, 2013: Utjecaj navodnjavanja i mikroreljefa u rasadniku na morfološke značajke šumskih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) i kitnjaka (*Quercus petraea* /Matt./ Liebl.). Šumarski list, 9 - 10 (2013.), 447 - 459. IF: 0,13.
2. **Tijardović M.**, S. Perić, 2013: Croatian Norway spruce cultures in European concept of culture management. *Periodicum biologorum*, 115 (3): 355 - 361. IF: 0,199.
3. **Tijardović M.**, J. Parviainen, S. Perić, 2013: Carbon storage potential of forest land: a comparative study of cases in Finland and Croatia. *SEEFOR*, 4 (1): 23 - 33.
4. Perić S., **M. Tijardović**, A. Jazbec, 2011: Rezultati istraživanja provenijencija zelene duglazije u ekološki različitim područjima kontinentalne Hrvatske. Šumarski list CXXXV (2011): 190 - 201. IF: 0,13.
5. Perić S., A. Jazbec, **M. Tijardović**, J. Margaletić, M. Ivanković, I. Pilaš, J. Medak, Jasnica, 2009: Provenance studies of Douglas fir on the locality "Kontija" (Istria). *Periodicum biologorum*, 111 (4): 487 - 493. IF: 0,199.
6. Perić S., J. Medak, I. Pilaš, B. Vrbek, **M. Tijardović**, 2009: Prvi rezultati istraživanja mogućnosti revitalizacije kamenoloma Očura II autohtonim vrstama drveća i grmlja. Šumarski list 133 (5 – 6): 309 - 317. IF: 0,13.
7. Böttcher H., I. Barbeito, C. Reyer, T. Vilen, **M. Tijardović**, E. Rafailova, N. Aleksandrov, 2009: Role of Forest Management in Fighting Climate Change – Forest Management Work Group Report. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 135: 39 - 54.
8. **Tijardović M.**, S. Perić, 2009: Climate change and forest cultures in Croatia. U zborniku radova: Vilém Podrázský, Róbert Marušák, Marek Turčáni (ur.), *Forest, Wildlife and Wood Sciences for Society Development - conference proceedings*. Prag, Faculty of Forestry and Wood Sciences, 2009: 91 - 96.
9. Perić S., **M. Tijardović**, M. Oršanić, J. Margaletić, 2009: Rasadnička proizvodnja i značaj šumskog reprodukcijskog materijala u RH. Radovi Hrvatskog šumarskog instituta, 44 (1): 17 - 27.
10. **Tijardović M.**, 2009: Radionica o prilagodbi šumarske politike i gospodarenja šumama u Europi s ciljem ublažavanja klimatskih promjena. Šumarski list, 129 (9 – 10): 541 - 547.
11. **Tijardović M.**, 2008: Ljetna škola o gospodarenju Mediteranskim šumama u promijenjenim okolišnim uvjetima (Chania, Kreta 23. do 29. lipnja 2008.), Šumarski list, 128 (11 – 12): 573.

12. Perić S., T. Dubravac, **M. Tijardović**, I. Čehulić, 2010: Zaštitne mjere uzgoja i sječe drveća i drugog raslinja, Poglavlje u knjizi: Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu – Knjiga 1, 2010.