

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Dušan ROŽENBERGAR

**VPLIV SVETLOBE NA RAZRAST BUKOVEGA MLADOVJA V
GOSPODARSKEM GOZDU IN PRAGOZDU NA DINARSKIH
JELOVO-BUKOVIH RASTIŠČIH KOČEVSKEGA ROGA**

MAGISTRSKO DELO

**EFFECTS OF LIGHT ON GROWTH AND MORPHOLOGY OF
BEECH SEEDLINGS AND SAPLINGS IN AN OLD-GROWTH AND
MANAGED DINARIC BEECH-FIR FOREST IN KOČEVSKI ROG**

M.Sc. Thesis

Ljubljana, 2007

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študija gozdarstva in je nastalo na Katedri za gojenje gozdov Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat BF je dne 26.06.2006 odobril temo magistrskega dela in za mentorja imenoval prof. dr. Jurija Diacija in za somentorja doc. dr. Roberta Brusa.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: Prof. dr. Andrej BONČINA, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: Prof. dr. Jurij DIACI, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: Doc. dr. Robert BRUS, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: Prof. dr. Franc BATIČ, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 21.12.2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Dušan Roženberger

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

DD	Md
DK	GDK 181.211:181.6+228.81+23: (043.2)=163.6
KG	ekologija pomlajevanja/ <i>Fagus sylvatica</i> / <i>Abies alba</i> /svetloba/pragozdovi/sonaravno gojenje gozdov/morfologija/oblika krošnje
KK	
AV	ROŽENBERGAR, Dušan, univ. dipl. inž. gozd.
SA	DIACI, Jurij (mentor) / BRUS Robert (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2007
IN	VPLIV SVETLOBE NA RAZRAST BUKOVEGA MLADOVJA V GOSPODARSKEM GOZDU IN PRAGOZDU NA DINARSKIH JELOVO-BUKOVIH RASTIŠČIH KOČEVSKEGA ROGA
TD	Magistrsko delo
OP	X, 107 str., 14 pregl., 28 sl., 0 pril., 135 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Raziskave bukovega mladovja različne starosti smo opravili v pragozdnem rezervatu Rajhenavski Rog in na primerljivih rastiščih v gospodarskih sestojih v gozdnogospodarskih območjih Kočevje in Novo mesto. Raziskavo smo opravili v sestojnih vrzelih z mladovjem, praviloma ne višjim od 2 m, in obravnavali vrzeli velike od 200 do 1200 m ² . Na vsaki raziskovalni ploskvi znotraj vrzeli smo merili in ocenjevali različne parametre in med njimi tudi obliko razrasti terminalnega poganjka (enoosen, rogovilast ali metlast) ter obliko razrasti celotnega osebka bukovega mladovja (enoosen raven, deformacija stebela ali plagiotropen). Na vseh točkah smo izmerili svetlobo. V vrzelih srednje vrednosti relativne svetlobe niso presegale 17 %, pod zastorom pa so bile okoli 3 %, kar je blizu minimuma, ki še omogoča nemoten razvoj pomladka. Z vidika bodoče kakovosti bukovih dreves so najbolj neugodne metlasta in rogovilasta razrast glavnega poganjka, ter plagiotropna razrast celotnega osebka bukovega mladja. Delež osebkov z metlasto razrastjo glavnega poganjka se povečuje, osebkov s plagiotropno razrastjo pa zmanjšuje, s povečevanjem vrednosti relativne direktne in razpršene svetlobe. Med deleži posameznih tipov razrasti osebkov bukovega mladovja razlik med gospodarskim gozdom in pragozdom nismo ugotovili. V obeh primerih je okoli 40 % vseh osebkov imelo neugodno razrast, kar ob zadostni gostoti in predpostavki, da ni drugih izrazitih neugodnih dejavnikov, ki bi povečevali smrtnost osebkov bukovega mladovja, ne pomeni izrazitega problema pri negi mlajših razvojnih faz.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Md
 DC FDC 181.211:181.6+228.81+23: (043.2)=163.6
 CX regeneration ecology/*Fagus sylvatica*/*Abies alba*/solar radiation/virgin forest/
 nature-based management/morphology/crown architecture
 CC
 AU ROŽENBERGAR, Dušan
 AA DIACI, Jurij (supervisor) / BRUS Robert (co-supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
 PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable
 forest resources
 PY 2007
 TI EFFECTS OF LIGHT ON GROWTH AND MORPHOLOGY OF BEECH
 SEEDLINGS AND SAPLINGS IN AN OLD-GROWTH AND MANAGED
 DINARIC BEECH-FIR FOREST IN KOČEVSKI ROG
 DT M. Sc. Thesis
 NO X, 107 p., 14 tab., 28 p., 0 ann., 135 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB We conducted the study in the Rajhenavski Rog forest reserve, an old-growth beech-
 fir dominated stand, and adjacent managed stands in the Dinaric mountain region
 located in the south-eastern part of Slovenia. From 2000-2002, we measured
 radiation and branching type of 1953 dominant beech seedlings on 531 plots
 established in gaps and locations under the canopy. The results showed that in gaps
 larger than 500 m², radiation levels were higher and more variable in the managed
 forest. While light conditions significantly influenced beech seedling architecture,
 no major differences were found between the managed and old-growth forest. The
 probability of broom shaped beech seedling tops increased, while the probability of
 plagiotropic branching decreased with increasing radiation. In all cases around 40 %
 of seedlings showed undesirable branching types, which should leave enough
 quality seedlings for normal development of a high-quality stand. With this in mind,
 we can say that selective management in beech-fir forests, if practiced intensively
 and with special care for young beech trees with desirable architecture, can provide
 good economical results and high quality beech timber.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI).....	III
Key words documentation (KWD).....	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo preglednic.....	VII
Kazalo slik.....	IX
Slovarček.....	XII
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 MEHANIZMI RAZRAŠČANJA OSEBKOV MLADOVJA	3
2.2 VPLIV SVETLOBE IN SISTEMA GOSPODARJENJA Z GOZDOM NA RAST OSEBKOV BUKOVEGA MLADOVJA.....	7
2.3 PLAGIOTROPNA RAST	9
2.4 ROGOVILASTA RAST	10
2.5 KRESNI POGANJKI	11
2.6 POSLEDICE ZASTRTOSTI	12
3 CILJ RAZISKOVANJA IN DELOVNE HIPOTEZE.....	14
4 MATERIAL IN METODE.....	15
4.1 OPIS RAZISKOVALNIH OBJEKTOV	15
4.2 METODE ZBIRANJA PODATKOV	18
4.2.1 Izbor vrzeli in postavitev raziskovalnih ploskev	18
4.2.2 Meritve in ocene parametrov mladovja	21
4.2.3 Meritve svetlobe.....	24
4.2.4 Analize podatkov	27
5 REZULTATI	31
5.1 SVETLOBNE RAZMERE	31
5.1.1 Svetlobne razmere v pragozdu in gospodarskem gozdu.....	31
5.1.2 Vpliv velikosti vrzeli na svetlobne razmere v vrzeli in njeni okolici	33
5.1.3 Prostorska razporeditev svetlobnih razmer znotraj vrzeli in pod zastorom	35
5.1.4 Osnovni parametri z meritev na ploskvah v pragozdu in gospodarskem gozdu.....	42
5.1.5 Prostorska razporeditev izbranih parametrov znotraj vrzeli in pod zastorom	44
5.2 RAZRAST OSEBKOV BUKOVEGA MLADOVJA V GOSPODARSKEM GOZDU IN PRAGOZDU	47
5.2.1 Kresni poganjki in dolžina terminalnega brsta glavnega poganjka.....	47
5.2.2 Osnovne lastnosti krošenj osebkov bukovega mladovja.....	48
5.2.3 Glavni tipi razrasti v različnih rastiščnih razmerah.....	49
5.2.4 Svetlobne razmere, relativni dolžinski prirastek in razmerje med višino in premerom za posamezne tipe razrasti glavnih poganjkov	51
5.2.5 Svetlobne razmere, relativni dolžinski prirastek in razmerje med višino in premerom za posamezne tipe razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja.....	55
5.2.6 Vpliv svetlobe na pojavljanje metlaste razrasti glavnih poganjkov	59
5.2.7 Vpliv svetlobe na pojavljanje posameznih tipov razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja	61

6	RAZPRAVA IN SKLEPI	64
6.1	MOTNJE IN SVETLOBNE RAZMERE V DINARSKIH JELOVO-BUKOVIH GOZDOVIH	64
6.1.1	Motnje in njihov pomen v razvoju gozda.....	64
6.1.2	Svetlobne razmere v pragozdnih in gospodarskih sestojih na rastiščih dinarskih jelovo-bukovih gozdov	66
6.1.3	Vpliv velikosti in oblike vrzeli na svetlobne razmere.....	67
6.2	SVETLOBNE RAZMERE ZNOTRAJ VRZELI	69
6.3	VPLIV SVETLOBNIH RAZMER NA NEKATERE OSNOVNE PARAMETRE RASTI OSEBKOV BUKOVEGA MLADOVJA	70
6.4	PRIMERJAVA IZBRANIH PARAMETROV RASTI MLADOVJA V PRAGOZDU IN GOSPODARSKEM GOZDU	73
6.5	RAZRAST OSEBKOV MLADOVJA BUKVE IN SVETLOBNE RAZMERE	74
6.5.1	Izbrani parametri znotraj tipov razrasti glavnega poganjka in celotnega osebka bukovega mladovja.....	75
6.5.1.1	Svetloba	75
6.5.1.2	Dimenzijsko razmerje (HD)	77
6.5.1.3	Dolžinski prirastek	78
6.5.1.4	Drugi izbrani parametri	79
6.5.2	Vpliv svetlobe na pojavljanje posameznih tipov razrasti glavnega poganjka in celotnih osebkov bukovega mladovja.....	79
6.6	SKLEPI	83
6.7	NEKATERI RAZMISLEKI O VKLJUČEVANJU REZULTATOV RAZISKAVE V PRAKSO GOJENJA GOZDOV	85
7	POVZETEK.....	87
8	SUMMARY.....	91
9	VIRI.....	96

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovni podatki o vrzelih	19
Preglednica 2: Vrednosti relativne razpršene (FDIF) in direktne (FDIR) svetlobe za posamezen razred opisne spremenljivke (SVETL1 in SVETL2) uporabljene v logistični regresiji (+ velika vrednost; - majhna vrednost).	29
Preglednica 3: Maksimalne (maks.), povprečne (povp.) in minimalne (min.) vrednosti relativne direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe ter indeks oblike (I_o) v posameznih vrzelih. Prikazani so tudi determinacijski koeficienti (r^2) ter statistična značilnost (p) za korelacijo med površino vrzeli (P) in različnimi vrednostmi relativne svetlobe.	33
Preglednica 4: Velikost vzorca (N), aritmetična sredina (M), mediana (Me) in statistična značilnost razlik med pragozdom in gospodarskim gozdom (p) za izbrane parametre.	43
Preglednica 5: Rezultati linearnih regresij posebej za direktno (FDIR) ter razpršeno (FDIF) svetlobo ter dolžino terminalnega brsta glavnega poganjka ($N = 472$).	47
Preglednica 6: Rezultati analize regresijske odvisnosti med deležem krošnje (DK) ter razmerjem med širino in dolžino krošnje (RSD) in obema tipoma svetlobe ($N = 347$).	48
Preglednica 7: Število osebkov (N), srednji rangi, mediane in poprečja za relativno direktno (FDIR) in razpršeno (FDIF) svetlobo, relativni dolžinski prirastek (REL P) in dimenzijsko razmerje osebkov (HD) za skupine ploskev z osebki bukovega mladovja z enoosnimi, rogovilastimi in metlastimi glavnimi poganjki, v pragozdu in gospodarskem gozdu kot rezultat Kruskal-Wallis testa.	52
Preglednica 8: Število osebkov (N), mediane, spodnji in zgornji kvartil za pokrovnost različnih parametrov (vsi parametri v %) in gostoto (N/ha) treh najpogostejših drevesnih vrst za skupine ploskev z osebki bukovega mladovja z enoosnimi, rogovilastimi in metlastimi glavnimi poganjki skupaj za pragozd in gospodarski gozd, kot rezultat Kruskal-Wallis testa.	54
Preglednica 9: Število osebkov (N), srednji rangi, mediane in poprečja za relativno direktno (FDIR) in razpršeno (FDIF) svetlobo, relativni dolžinski prirastek (REL P) in dimenzijsko razmerje osebkov (HD) za skupine ploskev s pokončnimi, osebki z deformiranim stebлом in plagiotropnimi osebki bukovega mladovja, v pragozdu in gospodarskem gozdu, kot rezultat Kruskal-Wallis testa.	57
Preglednica 10: Število osebkov (N), mediane, spodnji in zgornji kvartil za pokrovnost različnih parametrov (vsi parametri v %) in gostoto (N/ha) treh najpogostejših drevesnih vrst za skupine ploskev s pokončnimi, osebki z deformiranim stebлом in plagiotropnimi osebki bukovega mladovja skupaj za pragozd in gospodarski gozd kot rezultat Kruskal-Wallis testa.	58
Preglednica 11: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva FDIR in FDIF na pojavljanje metlastih glavnih poganjkov ($N = 1269$). Za izračun modela smo uporabili enačbo: $y = \exp(a + bx) / (1 + \exp(a + bx))$	59

Preglednica 12: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva opisne spremenljivke SVETL1 na pojavljanje metlastih glavnih poganjkov (N = 1269). 61

Preglednica 13: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva FDIR in FDIF na pojavljanje plagiotropnih osebkov bukovega mladovja (N = 1095). Za izračun modela smo uporabili enačbo: $y = \exp(a + bx) / (1 + \exp(a + bx))$ 62

Preglednica 14: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva opisne spremenljivke SVETL2 na pojavljanje plagiotropnih osebkov bukovega mladovja (N = 1059). 63

KAZALO SLIK

Slika 1: Načini rasti krošnje glede na apikalno dominanco (prirejeno po Chadwick in Bruce, 1990).....	4
Slika 2: Potek proleptične (zaporedje c – b – a) in sileptične (zaporedje c – d – e) rasti osebkov bukve (prirejeno po Roloff, 1987)	5
Slika 3: Proleptična rast in odmrtnje terminalnega poganjka povzročata metlasto razrast bukve (prirejeno po Roloff, 1987)	6
Slika 4: Lokacija raziskovalnega območja (prirejeno po Hladnik in Skvarča, 2006).....	15
Slika 5: Lokacije vrzeli vključenih v raziskavo (Atlas Slovenije, 2005)	17
Slika 6: Gospodarski gozd - lokacije raziskovalnih ploskev (črne pike ali mali krogci) na sistematični mreži (5x5 m) v vrzeli (rob vrzeli je označen s črto) in v okolici vrzeli pod zastorom (prirejeno po Kolar, 2005).	20
Slika 7: Pragozd - lokacija raziskovalnih ploskev (črne pike ali mali krogci) na sistematični mreži (5x5 m) v vrzeli (rob vrzeli je označen s črto) in v okolici vrzeli pod zastorom (prirejeno po Kolar, 2005).	21
Slika 8: Oblike razrasti glavnega poganjka.....	23
Slika 9: Oblike razrasti celotnega osebka bukovega mladovja	24
Slika 10: Štirje razredi (A,B,C,D) opisne spremenljivke glede na mediane (črte znotraj grafa) relativne direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe, ki smo jih uporabili za ugotavljanje vpliva kombinacij tipov svetlobe na razrast glavnega poganjka (SVETL1; levo; N = 1269) in celotnega osebka bukovega mladovja (SVETL2; desno; N = 1059).	29
Slika 11: Mediane, kvartilni razmaki in ekstremne vrednosti (relativne razpršene (FDIF) in direktne (FDIR) svetlobe (%) v pragozdu (P) in gospodarskem gozdu (G) za ploskve v velikih (V; $p > 500 \text{ m}^2$) in malih (M; $p < 500 \text{ m}^2$) vrzelih in ploskve pod zastorom (Z), kot rezultat Mann-Whitney U testa.	32
Slika 12: Maksimalne (maks.), povprečne (povp.) in minimalne (min.) vrednosti direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe v odvisnosti od indeksa oblike vrzeli (Io).	35
Slika 13: Prostorska razporeditev direktne svetlobe (FDIR) v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.	36
Slika 14: Prostorska razporeditev direktne svetlobe (FDIR) pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.	37

Slika 15: Prostorska razporeditev razpršene svetlobe (FDIF) v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.	38
Slika 16: Prostorska razporeditev razpršene svetlobe (FDIF) pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.	39
Slika 17: Prostorska razporeditev štirih svetlobnih razredov (A,B,C,D) glede na jakost direktne (FDIR) in razpršene svetlobe (FDIF) v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.	40
Slika 18: Prostorska razporeditev štirih svetlobnih razredov (A,B,C,D) glede na jakost direktne (FDIR) in razpršene svetlobe (FDIF) pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.	41
Slika 19: Število (N) plagiotropnih osebkov bukovega mladovja na različnih lokacijah v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.	44
Slika 20: Število (N) plagiotropnih osebkov bukovega mladovja pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.	45
Slika 21: Število (N) osebkov bukovega mladovja z metlasto razrastjo glavnega poganjka na različnih lokacijah v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.	46
Slika 22: Delež krošnje (DK) in razmerje med širino in dolžino krošnje (RSD) v odvisnosti od razpršene (FDIF) in direktne (FDIR) svetlobe. Uporabili smo regresijsko enačbo $y = a + b \cdot \ln x$	49
Slika 23: Deleži metlastih, rogovilastih in enoosnih glavnih poganjkov (levo), ter plagiotropnih, osebkov bukovega mladovja z deformacijo stebila in pokončnih osebkov bukovega mladovja (desno) v skupnem številu osebkov v gospodarskem gozdu (G; N = 621) in pragozdu (P; N = 1332).	50
Slika 24: Deleži metlastih, rogovilastih in enoosnih glavnih poganjkov (levo), ter plagiotropnih, osebkov bukovega mladovja z deformacijo stebila in pokončnih osebkov bukovega mladovja (desno) v skupnem številu osebkov v veliki vrzeli (Vrzel-V; N = 225), mali vrzeli (Vrzel-M; N = 179), pod zastorom v okolici velike vrzeli (Zastor-V; N = 406), pod zastorom v okolici male vrzeli (Zastor-M; N = 427) in pod sklenjenim zastorom (Zastor-Z; N = 716).	51
Slika 25: Mediane direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe, relativnega dožinskega prirastka zadnjega leta (RELP) in dimenzijskega razmerja (HD) glede na tip razrasti glavnega poganjka posebej za pragozd (P) in gospodarski gozd (G).	53

Slika 26: Mediane in kvartilni razmaki relativne direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe, relativnega dolžinskega prirastka zadnjega leta (RELP) in dimenzijskega razmerja (HD) kot rezultat Kruskal-Wallis testa (vsi $p < 0,0001$) glede na tip razrasti osebkov bukovega mladovja (Pokončen, N = 356; Deformacija stebra, N = 858; Plagiotropen, N = 739) skupaj za pragozd in gospodarski gozd. 56

Slika 27: Verjetnost pojavljanja metlastega glavnega poganjka (enoosen glavni poganjek – 0; metlast glavni poganjek – 1) glede na relativno direktno (FDIR %) in razpršeno svetlobo (FDIF %) kot rezultat logistične regresije..... 60

Slika 28: Verjetnost pojavljanja plagiotropnega tipa razrasti celotnih bukovih osebkov (pokončen osebek – 0; plagiotropen osebek – 1) glede na relativno direktno (FDIR %) in razpršeno svetlobo (FDIF %), kot rezultat logistične regresije..... 62

SLOVARČEK

Nekateri izrazi, ki smo jih uporabili v nalogi, imajo v različni literaturi različne pomene. Kakšen pomen imajo v tej nalogi, je razvidno iz spodnjega opisa.

apikalna dominanca	pojav, ko glavni poganjek zavira in kontrolira rast stranskih poganjkov
dimenzijsko razmerje	razmerje med višino drevesca in njegovim premerom na koreninskem vratu
drevesni ostanki	večji ostanki lesa odmrlih dreves
kresni poganjek	poganjek, ki je posledica naknadnega aktiviranja rasti v višino v poznem poletju ali v jeseni po že zaključenem prvem obdobju višinske rasti
metlasta razrast	način rasti, ko na drevescu enakovredno rastejo trije ali več terminalnih poganjkov
mladje	razvojna stopnja sestoja od vznika do gošče
mladovje	skupek treh razvojnih stopenj sestoja in sicer: mladja, gošče in letvenjaka
osebek bukovega mladovja	vsak osebek bukve, starejši kot eno leto, z višino pod 4 m
plagiotropnost, plagiotropna razrast	pojav, ko drevesce nima izrazitega terminalnega poganjka, veje prvega reda izraščajo iz stebila pod širokomi koti, poganjki pa rastejo izrazito lateralno in s tlemi vzporedno, kar ima za posledico močno sploščeno in široko dežnikasto krošnjo
proleptična rast	rast terminalnega poganjka, ki se konča s tvorbo brstov lateralnih poganjkov
rast	povečevanje mase in velikosti osebkov bukovega mladovja zaradi celične delitve in povečevanja celic, predvsem v smislu povečevanja dolžine in premera poganjkov in stebila
razrast	način rasti in razvejevanja glavnega poganjka ali celotnega osebk bukovega mladovja, ki določa njegovo zunanjo obliko
razrast celotnega osebk	način rasti celotnega osebk bukovega mladovja, ki je lahko plagiotropna, pokončna enoosna ali taka, da povzroča deformacije stebila (kriva, sabljasta ali kolenčava rast)
razrast glavnega poganjka	način rasti glavnega poganjka, ki je lahko rogovilasta, metlasta ali enoosna
relativna direktna svetloba, direktna svetloba	delež direktnega sončnega sevanja v spektru, ki ga zazna fotografski aparat (podobno spektru vidne svetlobe) na točki meritve v primerjavi z razmerami na prostem
relativna razpršena svetloba, razpršena svetloba	delež razpršenega sončnega sevanja v spektru, ki ga zazna fotografski aparat (podobno spektru vidne svetlobe) na točki meritve v primerjavi z razmerami na prostem
rogovilasta razrast	način rasti, ko na drevescu enakovredno rasteta dva terminalna poganjka
sileptična rast	rast terminalnega in hkrati lateralnih poganjkov, brez predhodne tvorbe njihovih brstov
vrzel	odprtina v sklepu krošenj odraslega sestoja, v kateri je vegetacija nižja od polovice višine okoliškega sestoja

1 UVOD

Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.) je pomembna drevesna vrsta evropskih gozdov. Njen naravni areal pokriva večji del Balkana, srednje in zahodne Evrope, proti vzhodu pa se razprostira do Ukrajine (Schütt in sod., 2005). V Sloveniji je bukev najpogostejša drevesna vrsta. Z večjim ali manjšim deležem je prisotna na 70 % površin slovenskih gozdov (Beguš, 1999; Brus, 2005) in se nahaja v čistih ali mešanih sestojih. V slovenskih gozdovih in gozdarstvu je pomembna zaradi i) pozitivnega vpliva na biološko stabilnost gozdnih ekosistemov, ii) dobrega naravnega pomlajevanja in posledično ohranjanja genofonda, iii) pozitivne vloge pri revitalizaciji degradiranih rastišč in, v primeru kakovosti, iv) zaradi velike ekonomske vrednosti.

Večjo skupino mešanih bukovih gozdov v Sloveniji predstavljajo dinarski jelovo-bukovi gozdovi (*Omphalodo-Fagetum* (Tregubov 1957 corr. Puncer 1980), Marinček et al., 1993), ki zavzemajo 14 % površine slovenskih gozdov (Boncina in sod., 2002). Spadajo med najbolj ohranjene gozdove pri nas, tako glede drevesne sestave in strukture sestojev, kakor tudi glede živalskega sveta. Preteklo gospodarjenje, ki je upoštevalo načela trajnosti in sonaravnosti, je glavni razlog za dobro stanje v teh gozdovih. Kljub zavidljivemu stanju teh gozdov z ekološkega vidika, pa ekonomski kazalniki gospodarjenja niso na pričakovani ravni.

Pri gospodarjenju z dinarskimi jelovo-bukovimi gozdovi je v zvezi s pomlajevanjem več nejasnosti. Naravna razgradnja bukovih sestojev je izrazito malopovršinska (Korpel, 1982; Pruša, 1985; Korpel, 1995; Meyer in sod., 1999; Tabaku in Meyer, 1999; Mountford, 2000; Konečnik in Zaplotnik, 2001; Zeibig, 2001), zato je pomlajevanje bukve pri obnovi sestojev najbolj uspešno pri malopovršinskem gospodarjenju. Razvoj mladovja po vzniku v pragozdnih sestojih poteka v relativno skromnih svetlobnih razmerah (Mlinšek, 1967). Raziskave in izkušnje iz gospodarskega gozda kažejo na slabše kakovostne zasnove mladovja, ki raste pod zastorom v senčnih legah (Sagheb Thalebi, 1995; Sagheb Thalebi, 1996), posledica pa je slabša tehnična vrednost bukovega lesa, ki prihaja iz malopovršinskih gojitvenih sistemov, kot je npr. prebiralno gospodarjenje.

Daljša zastrtost domnevno neugodno vpliva na razraščanje bukve in oblikovanje njene krošnje in stebila (Roloff, 1987; Roloff in Römer, 1989; Schütz, 1992; Schütz in Barnola, 1996; Schütz, 1998). Bukev je vrsta s slabo izraženo apikalno dominanco, kar pomeni, da ima izrazito lateralno razrast v razmerah šibke svetlobe (Roloff, 1987). Taka razrast kasneje lahko vpliva na kakovost osebka, saj ponovni dotok svetlobe povzroči enakovredno rast več poganjkov hkrati in s tem poveča možnost kodominantnih debel (Chadwick in Bruce, 1990). Poleg tega imajo debelca osebkov bukovega mladovja raslih v senci več napak in so bolj zavite rasti, kot debelca drevesc, ki so rasla v polni svetlobi (Brinar, 1969).

Pomembna pomanjkljivost dosedanjih raziskav na preučevanem področju je bila nezadovoljiva obravnava svetlobnih razmer v sestojih. Šele razvoj cenejših in natančnejših metod ocenjevanja sončnega sevanja, uporabljenih tudi v tej raziskavi, je omogočil natančen opis in boljši vpogled v raznovrstnost mikrorastišč pod zastorom in v vrzelih (Sagheb Thalebi, 1996; Diaci, 1999a; Diaci, 1999b; Diaci in sod., 2000; Diaci, 2002).

Čeprav povezava med kakovostjo mladovja in odraslega sestoja ni povsem jasna, je mogoče sklepati, da je predpogoj za kakovostno bukovino ustrezen razvoj drevesa v mladostni fazi, saj takrat nastaja spodnji, najvrednejši del debla. Ta razvoj je predvidoma mogoče usmerjati z uravnavanjem svetlobe s pomočjo gojitvenih ukrepov. Namen naše raziskave je bil ugotoviti, kako svetlobne razmere kot posledica načina gospodarjenja z gozdom vplivajo na kvaliteto bukovega mladovja. Ker je bukev najbolj zastopana drevesna vrsta v naših gozdovih, lahko informacije o vplivu svetlobe in posledično gojitelja na rast in razvoj bukovega mladovja bistveno pripomorejo k bolj optimalnemu gospodarjenju s slovenskimi gozdovi.

2 PREGLED OBJAV

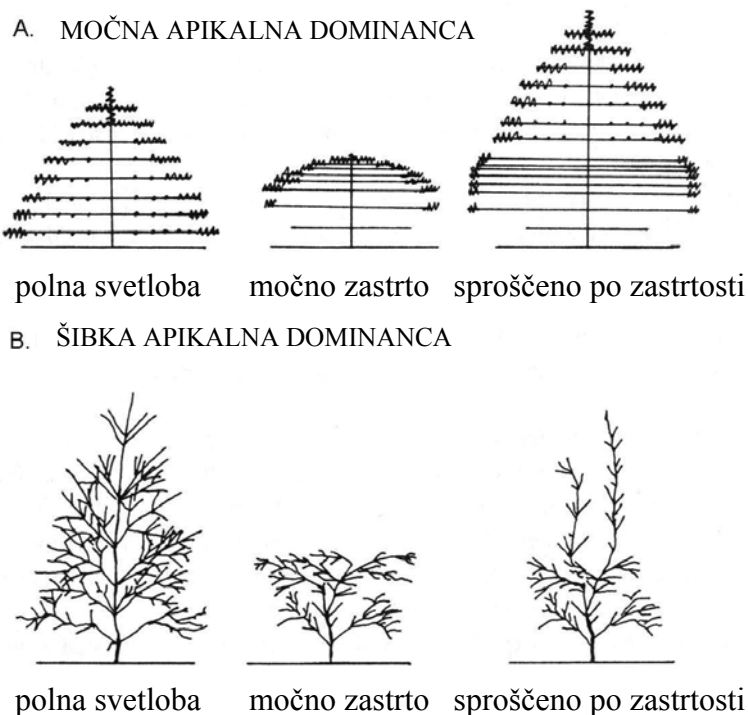
Na obliko krošnje in vzorec razraščanja posameznega drevesa vpliva mnogo dejavnikov in mehanizmov. V prvem delu pregleda objav smo predstavili literaturo, ki obravnava zakonitosti, ki veljajo v splošnem za vse drevesne vrste, v drugem pa avtorje, ki so posebej proučevali bukev.

2.1 MEHANIZMI RAZRAŠČANJA OSEBKOV MLADOVJA

Oblike krošenj so določene s številom, dolžino, položajem in smerjo glavnega debla ter stranskih vej. So posledica genetsko določene rasti krošnje posamezne drevesne vrste in vplivov okolja in lahko močno variirajo med vrstami in znotraj vrst. Tako v večjih nadmorskih višinah in severnih širinah najdemo bolj ozke in globoke krošnje, v nižjih nadmorskih višinah in bliže ekvatorju pa bolj široke dežnikaste krošnje. Ena od razlag za ta pojav je tendenca dreves, da s krošnjo prestrežejo kar največ direktnega sončnega sevanja. Glede na kot žarkov oblika krošnje omogoča maksimalni izkoristek prejetega sevanja. Oblika krošnje je odvisna od rasti glavnega debla in stranskih vej. Veje prvega reda nadzoruje glavni poganjek, veje drugega reda pa glavni poganjki vej prvega reda. Podobno velja za vse nadaljnje nivoje razrasti vej. Na drevesu redko najdemo več kot 5 nivojev razrasti vej (Chadwick in Bruce, 1990).

Oblika krošnje je odvisna tudi od t.i. notranjih vzrokov, kot je apikalna dominanca. Apikalna dominanca je pojav, ko glavni poganjek zavira in kontrolira rast stranskih poganjkov (Slika 1 A). Pojav je močno izražen pri večini naših iglavcev. Nekatere vrste kot hrasti in bukev imajo šibko izraženo apikalno dominanco, kar omogoča več sosednjim poganjkom enakovredno rast. Krošnje takih dreves so bolj okrogle, imajo več kodominantnih debel in veje, razrasle v vodoravni smeri v primeru zastrtosti (Chadwick in Bruce, 1990). Ko je glavni poganjek pri taki vrsti poškodovan, rastejo prvi stranski poganjki v višino pod ostrim kotom. Vsi so v enakem položaju, dokler eden ne preraste ostalih in prevzame vloge glavnega poganjka (Slika 1 B). Ko se to zgodi, ostali poganjki spet začnejo rasti v horizontalni smeri pod bolj položnim kotom (Chadwick in Bruce, 1990).

Messier (1999) je s sodelavci ugotovil, da je sposobnost sencoizdržnih vrst, da preživijo v neugodnih svetlobnih razmerah, močno odvisna od njihove sposobnosti, da spremenijo svojo rast v prid učinkovitejšemu prestrezanju svetlobe in manj intenzivnemu dihanju. Glavne prilagoditve v slabih svetlobnih razmerah so po njegovem mnenju zmanjšana višinska in povečana lateralna rast, zmanjševanje števila brstov na terminalnem poganjku, povečana površina zastiranja krošnje in morfološke prilagoditve znotraj listov.



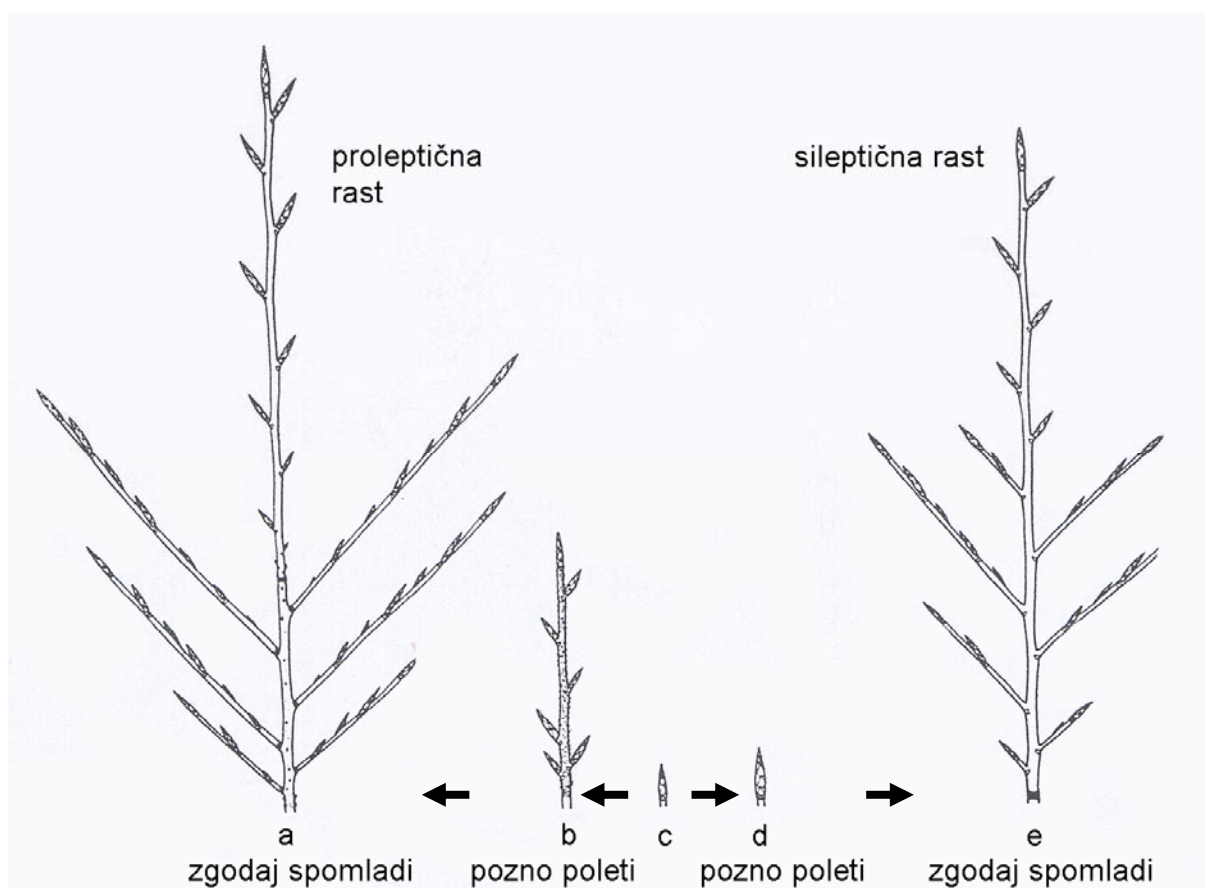
Slika 1: Načini rasti krošnje glede na apikalno dominanco (prirejeno po Chadwick in Bruce, 1990)

Figure 1: Crown growth according to the level of apical dominance (adapted from Chadwick and Bruce, 1990)

Tudi prisotnost proleptične ali sileptične rasti je pomembna pri razrasti drevesa. Termina označujeta dva tipa rasti lateralnih poganjkov. V primeru sileptične rasti lateralni poganjek v istem letu zraste iz terminalnega poganjka med tem ko glavni poganjek še raste. V primeru proleptične rasti pa se na novo nastalem terminalnem poganjku v istem letu oblikujejo le brsti lateralnih poganjkov. Lateralni poganjki v tem primeru praviloma začnejo z rastjo v naslednji rastni sezoni ali po fazi mirovanja, ko

nastopijo ugodne razmere in je rast glavnega poganjka že končana (Barnes in sod., 1998). Pojav proleptične ali sileptične rasti je sicer genetsko pogojen, vendar lahko v nekaterih primerih nastopi tudi kot posledica sprememb okolja, kot je npr. nenadna osvetlitev (Schütz in Scholz, 1996).

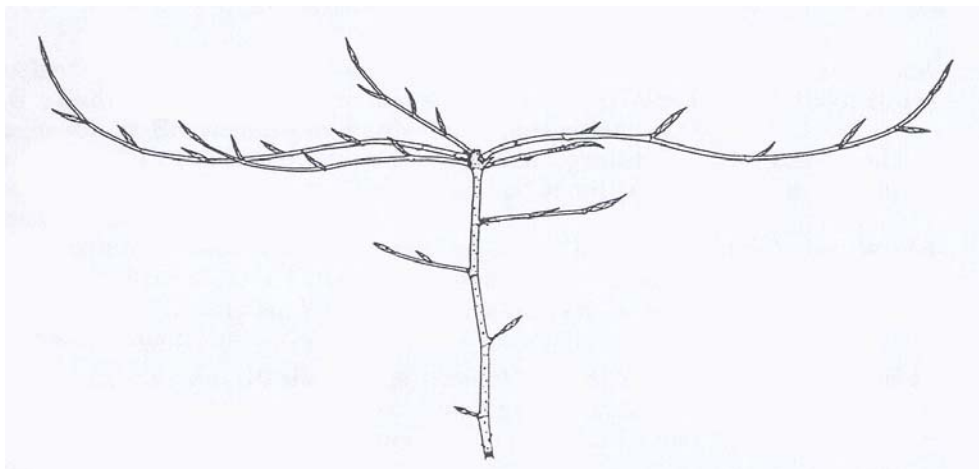
Pojav obeh načinov rasti pri mladih bukovih drevescih je lahko odvisen tudi od vremenskih razmer v poznem poletju in jeseni. Terminalni poganjek se lahko razvije pozno poleti, ko raste proleptično, kar pomeni, da stranski poganjki oblikujejo samo brste (Slika 2b), ki rastejo naslednjo spomlad skupaj z novim terminalnim poganjkom (Slika 2a). Druga možnost je neaktivnost terminalnega poganjka pozno poleti (Slika 2d) in sileptična rast zgodaj spomladi naslednjega leta, ko hkrati rastejo terminalni poganjek in več stranskih poganjkov (Slika 2e) (Roloff, 1987).



Slika 2: Potek proleptične (zaporedje c – b – a) in sileptične (zaporedje c – d – e) rasti osebkov bukve (prirejeno po Roloff, 1987)

Figure 2: Prolepsis (c – b – a) and syllepsis (c – d – e) in beech (adapted from Roloff, 1987)

Proleptična rast je z vidika kvalitete lahko problematična, ko pride do poškodbe terminalnega poganjka in več stranskih poganjkov enakovredno raste naprej (Slika 3).



Slika 3: Proleptična rast in odmrtnje terminalnega poganjka povzročata metlasto razrast bukve (prirejeno po Roloff, 1987)

Figure 3: Combination of proleptic growth and death of terminal bud leads to broom shaped growth of beech (adapted from Roloff, 1987)

Sistem poganjkov se pri bukvi razrašča monopodialno, kar pomeni, da je glavna višinska rast posledica rasti terminalnega poganjka. Ta poganjek zraste iz terminalnega brsta, ki je praviloma večji od lateralnih brstov. Bukev ima premenjalno razporeditev brstov in včasih se zgodi, da je prvi lateralni brst nameščen povsem poleg terminalnega, obenem pa je tudi podobno velik. Tak brst, ki ga imenujemo tudi subterminalni, lahko povzroči rogovilasto razrast bukve (Eschrich, 1981; Brus, 2005).

Raziskovalca Ram in Ramakrishnan (1982) sta drevesne vrste razporedila v dve skupini: (i) vrste zgodnjih faz sukcesijskega razvoja (ZF), ki rastejo skozi celotno rastno obdobje, dokler so zunanje razmere ugodne in (ii) vrste poznih faz sukcesijskega razvoja (PF), ki rastejo le določeno krajše obdobje na začetku rastne sezone. V ugodnih razmerah vrste PF, med katere spada tudi bukev, kasneje v rastni sezoni še enkrat prirastejo. To dejstvo kaže na veliko adaptivno sposobnost vrst PF, ki imajo poleg sposobnosti prilagoditve na slabe rastiščne razmere tudi sposobnost prilagoditve na nenadno spremembo istih razmer. Vrste ZF rastejo sileptično, medtem ko vrste PF rastejo proleptično. Sileptična rast maksimalno izkorišča dane razmere, ki se v zgodnjih fazah sukcesijskega razvoja hitro spreminjajo in poslabšujejo. S sileptično rastjo se listi

stranskih poganjkov izognejo senčenju, ki ga povzročajo listi glavnega poganjka. Majhno število dodatnih brstov in nesposobnost za odganjanje v naslednjem letu pri vrstah ZF nakazuje popolno usmerjenost teh vrst v rast tekočega leta. Drugače je pri vrstah PF, kjer veje rastejo iz brstov, ki so nastali v prejšnjem letu. Vrste ZF imajo bolj izraženo apikalno dominanco kot vrste PF, kar se kaže v krajših in ožjih krošnjah. Vrste ZF so tako bolj sposobne izkoriščati visoke intenzivnosti sončnega sevanja, vrste PF pa razmere pod zastorom, kjer je intenzivnost sončnega sevanja bistveno manjša. Več avtorjev je ugotovilo, da so klimaksne vrste, kamor v našem primeru spada tudi bukev, v primerjavi z vrstami zgodnjih faz sukcesijskega razvoja sposobne večjih prilagoditev oblike krošnje, hkrati pa so sposobne ustvariti večji volumen krošnje pri enaki količini asimiliranega ogljika (Küppers, 1989; Takyu, 1998).

2.2 VPLIV SVETLOBE IN SISTEMA GOSPODARJENJA Z GOZDOM NA RAST OSEBKOV BUKOVEGA MLADOVJA

Gozdarski strokovnjaki (Benak, 1888) so na podlagi opazovanj že zelo zgodaj ugotovili, da je svetloba pomembna ne samo za kakovosten razvoj osebkov posameznih drevesnih vrst, ampak tudi za drevesno sestavo bodočih sestojev. Že v prvih raziskavah so pri bukvi opazili drugačno rast osebkov pod sklenjenim zastorom v primerjavi z osebki, ki so rasli v dobrih svetlobnih razmerah. Znaki, ki kažejo slabšo kakovost mladih bukovih osebkov, so v literaturi različno definirani, kljub temu pa lahko naštejemo nekaj najpogostejših, in sicer: plagiotropna, rogovilasta in grmasta rast, prisotnost kresnih poganjkov, krivo deblo, kolenčavost, gosto- in debelo-vejnatost in neprimerni insercijski koti vej prve stopnje (Kurth, 1946; Harley in Waid, 1955; Brown, 1960; Šafar, 1964; Brinar, 1969; Bolvanský, 1980; Sagheb Thalebi, 1995; Sagheb Thalebi, 1996).

Raziskav o povezavi med kakovostjo bukovega mladovja in končno kakovostjo sestoja je malo in so nepopolne. Problematika je bolj aktualna v deželah z dolgoletno tradicijo gospodarjenja z bukovimi gozdovi in neproblematičnim pomlajevanjem (vzhodnoevropske države), obenem pa je problem tudi metodološko zahteven. Brinar (1969) ugotavlja, da ukrivljenost debla in kolenčavost osebkov bukovega mladja domnevno ne vplivata na njihovo končno kakovost. Stalni pritiski pobočnih gruščev in

nestabilnih tal ali snega na deblo s strani na strmih pobočjih lahko deformirajo deblo. Pojav, ki se lahko začne že v zelo zgodnji fazi razvoja drevesa, povzroči poganje glavnega debla in odganjanje korenin iz debla. V takem primeru so posledice vidne tudi pri odraslih drevesih, ki imajo zato izrazito kriva debla (Fanta, 1981). Kolenčavost in krivost v normalnih razmerah z razvojem osebka postaneta manj izraziti in sčasoma izgineta, rogovilasta in plagiotropna rast pa sta z vidika končne kakovosti bolj problematični in nezaželeni. Manjši kot izraščanja vej, kot posledica senčenja, slabi potencialno mehansko stabilnost drevesa in lahko posredno, zaradi večje možnosti poškodb, zmanjša končno kvaliteto bukovega drevesa (Brinar 1969). Mlinšek je proučeval vpliv rasti mladih bukovih dreves na končno kvaliteto. Ugotovil je, da imajo drevesa, ki so v mladosti po senčenju nenadoma začela s hitro rastjo, sicer kvalitetna debla, vendar les z več napakami kot drevesa z mladostno enakomerno višinsko in debelinsko rastjo, zato je predlagal počasno odstranjevanje zgornje plasti in majhne jakosti negovalnih ukrepov v bukovem mladovju (Mlinšek in Bakker, 1990).

Čeprav je morfologija dreves vrstno značilna, je njihova oblika tudi posledica zunanjih ekoloških dejavnikov. Razrast drevesa je v gozdu bistvenega pomena za njegovo konkurenčnost. Mlado drevo je v hitrem sukcesijskem razvoju konkurenčno, če uspe pred drugim drevesom zasesti razpoložljivi prostor in s tem osnovne vire za svoj razvoj. Drevesa pod zastorom morajo širiti svoje poganjke, da bi dobila več listov in tako preživel, vendar morajo poleg listov vzdrževati tudi debla, na katerih so listi pritrjeni. Ta dodatni "strošek" ogroža obstoj drevesa, zato je pomembno, kakšna je oblika drevesa pod zastorom v senci, saj široke krošnje zmanjšujejo delež senčenja, ki nastopi med listi iste rastline (Takyu, 1998; Cho in sod., 2005).

Več raziskav o vplivu slabih svetlobnih razmer na rast in morfologijo osebkov bukovega mladja potrjuje domnevo o zavrti rasti in manjši produkciji osebkov v neugodnih svetlobnih razmerah, ki nastopajo pod sklenjenim zastorom ali v izrazito malopovršinskih gojitvenih sistemih gospodarjenja. Značilni so zmanjšana višinska in volumenska rast, manjše število in površina listov na enoto zastrte površine ter večji delež plagiotropne rasti (Šafar, 1964; Schütz in Scholz, 1996). Na zmanjšano rast dve leti starih osebkov bukovega mladja poleg trenutnih svetlobnih razmer vplivajo tudi

svetlobne razmere v prejšnjem letu razvoja. To dejstvo je potrebno upoštevati pri raziskavah vpliva svetlobnega sevanja na pomlajevanje bukve (Ram in Ramakrishnan, 1982; Welander in Ottoson, 1995; Minotta in Pinzauti, 1996; Welander in Ottoson, 1998).

Rezultati raziskav v Švici o vplivu velikosti vrzeli na razrast bukovega mladja kažejo manj kakovostno razrast osebkov bukovega mladja v centralnem delu vrzeli, večjih od 0,1 ha. Kakovost osebkov mladja je najboljša v vrzelih velikosti od 0,02 do 0,05 ha, kjer je od 21 do 40 % relativnega svetlobnega sevanja (Sagheb Thalebi in Schütz, 2001). Poleg manjših dolžinskih prirastkov pod zastorom je Sagheb Thalebi (1996) ugotovil tudi manjšo dolžino poganjkov pri polni osvetljenosti.

Stancioiu in O'Hara (2006a) sta v romunskih mešanih gozdovih jelke, bukve in smreke proučevala vpliv svetlobnih razmer na rast in razvoj pomladka. Raziskava je za nas še posebej zanimiva, saj je bila izvedena v podobnih rastiščnih in sestojnih razmerah in je v nekaterih segmentih neposredno primerljiva z našo raziskavo. Avtorja sta za vse tri drevesne vrste ugotovila, da se relativna dolžina krošnje in razmerje med dolžino terminalnega in lateralnih poganjkov povečujeta, medtem ko se razmerje med širino in dolžino krošnje zmanjšuje s povečevanjem svetlobe.

2.3 PLAGIOTROPNA RAST

Plagiotropna rast osebkov bukovega mladja je po ugotovitvah nekaterih avtorjev (Kurth, 1946; Harley in Waid, 1955; Brown 1960) med drugim tudi posledica zasenčenosti v mladostni fazi. Plagiotropnost se kaže v širokih kotih izraščanja vej prvega reda in izraziti lateralni in s tlemi vzporedni rasti poganjkov, kar ima za posledico močno izraženo dvodimenzionalno krošnjo z dežnikasto obliko (Halle in sod., 1978).

Givinish (1995) ugotavlja, da plagiotropna rast zmanjšuje delež senčenja med listi iste rastline, vendar za isto maso listja potrebuje rastlina s takim tipom razrasti večji delež nosilnih tkiv. Kljub temu je plagiotropna rast pod zastorom bolj učinkovita, ker prinaša večji indeks listne površine (m^2 listov / m^2 tal) kot ortotropna rast in hitra rast v višino,

ki je globoko pod zastorom neekonomična. Caldwell in Pearcy (1994) obenem ugotavljata, da pri močni konkurenci za prostor rastline razvijejo deformirane in nesimetrične krošnje in da je v tekmovanju za nadzemski prostor lateralna oz. plagiotropna rast krošenj bistvena za prestrežanje čim večje količine sončnega sevanja in hkrati za senčenje konkurentov.

Nicolini (2000) je v svojih raziskavah prišel do spoznanja, da imajo manj vitalna drevesa bukve bolj ali manj nagnjeno os glavnega stebila, oz. rastejo plagiotropno in poganjke razporejeno dvoredno, medtem ko imajo vitalni osebki, ki rastejo v za njih ugodnih razmerah, ortotropno rast in radialno razporejene poganjke.

Bukev spada med vrste, ki v času svojega razvoja spreminjajo oblike rasti iz ortotropne v plagiotropno in obratno. Te spremembe niso odvisne samo od zunanjih dejavnikov, ampak tudi od razvojne faze, v kateri je drevo. Klica je npr. vedno ortotropna, mlada rastlina brez stranskih poganjkov ali z enim stranskim poganjkom pa plagiotropna ne glede na zunanje razmere (Millet in sod., 1998).

V raziskavi v romunskih mešanih gozdovih jelke, bukve in smreke sta Stancioiu in O'Hara (2006a) proučila tudi vpliv svetlobe na plagiotropno razrast osebkov bukovega mladja. Odvisnost med svetlobo in pojavljanjem plagiotropne razrasti je bila značilna in močna. Verjetnost pojavljanja plagiotropnih osebkov je skokovito padla skoraj na ničelno vrednost pri vrednostih relativne skupne svetlobe nad 30 %, medtem ko je pod to vrednostjo narasla skoraj na 1, kar je kazalo, da je to mejna vrednost, pri kateri se kvaliteta mladja z vidika razrasti močno poslabša.

2.4 ROGOVILASTA RAST

Pojav rogovile je lahko posledica genetskih značilnosti drevesa ali biotskih vplivov. Možni vzroki za nastanek rogovile, ki je povezan z odmrtnjem ali poškodbami glavnega poganjka so objedanje, mraz, sečnja, moker sneg in led. Pojav rogovile je pogostejši v nekoliko starejšem mladovju, saj v mlajših fazah gostota bukovih osebkov preprečuje razvoj obeh krakov rogovile (Šafar 1964). Raziskava v hrvaških bukovih gozdovih ni

pokazala bistvenih razlik med pogostnostjo pojava rogovil pod zastorom in zunaj njega. Nekoliko manj je rogovilaste rasti v sestojih, kjer je bila izvedena oplodna sečnja z zakasnitvijo. Dejstvo je domnevno posledica boljših toplotnih razmer in slabših svetlobnih razmer, ki dovoljujejo razvoj samo enega od dveh enakovrednih lateralnih poganjkov (Šafar 1964).

Sagheb Thalebi (1996) je ugotovil, da je pojavljanje rogovile pri bukovih drevescih odvisno od svetlobnega sevanja, saj je bil delež rogovilaste in metlaste rasti bolj pogost pri zelo velikih in pri zelo majhnih vrednostih svetlobnega sevanja.

Stancioiu in O'Hara (2006a) poročata o značilno večjem deležu rogovilastih osebkov bukovega mladja pod zastorom, saj se je 75 % osebkov mladja z rogovilo pojavilo pri vrednosti relativne skupne svetlobe pod 20 %. Verjetnost pojavljanja rogovilaste rasti se je značilno zmanjševala s povečevanjem relativne skupne svetlobe, vendar je bila odvisnost šibka.

2.5 KRESNI POGANJKI

Prisotnost kresnih poganjkov domnevno negativno vpliva na kvaliteto bukovega mladja, saj ti poganjki v jeseni včasih ne olesenijo pravočasno in jih jesenski in zimski mraz poškodujeta. Tako nastale poškodbe povzročijo razne deformacije v kasnejšem razvoju debla. Kljub vsemu ima lahko prisotnost kresnih poganjkov tudi pozitivne učinke. Če ne pride do pozebe, imajo drevesa s kresnimi poganjki večji višinski prirastek in s tem prednost pred ostalimi osebki v naslednji sezoni (Cimperšek, 1988).

Brinar (1969) ni našel značilnih razlik v številu osebkov s kresnimi poganjki, niti v številu kresnih poganjkov na en osebek pri različnih svetlobnih razmerah. Opazil je, da se je število kresnih poganjkov povečalo za 100 % v letu spomladanske pozebe in da je prisotnost kresnih poganjkov individualno pogojena. Tako je po njegovem mnenju prisotnost kresnih poganjkov odvisna od vremenskih pojavov v tekočem letu in dedno pogojene predispozicije osebkov.

Pozitivno odvisnost med svetlobnimi razmerami in prisotnostjo kresnih poganjkov je ugotovil Sagheb-Thalebi (1996). Njegova raziskava je pokazala, da je intenziteta svetlobnega sevanja močno vplivala na pojavnost kresnih poganjkov, saj sta pri boljši osvetljenosti v eni sezoni zrasla tudi do dva kresna poganjka. Pojav kresnih poganjkov je pomenil tudi bolj intenzivno višinsko rast, ki je bila vsaj tretjinsko posledica rasti kresnih poganjkov.

Tudi Nicolini (1994) je ugotovil, da je delež bukovih drevesc s policiklično rastjo, pojavom, ko imamo več obdobji višinske rasti v istem letu, večji v razmerah polne osvetlitve, kjer je delež dosegel 51 %, kot pod zastorom z deležem le 14 %.

2.6 POSLEDICE ZASTRTOSTI

Brinar (1969) v svoji raziskavi poroča, da je zastrtost (50 % globalnega sončnega sevanja) pri mladih bukovih drevesih povzročila hitrejši začetek olistanja in podaljšalo njegovo trajanje. Tovrsten vpliv senčenja je bil opazen še do 8 let po odstranitvi zastora. Ker se je olistanje mladih bukovih osebkov začelo prej, je bila tudi nevarnost pozebe povečana, kar povzroča dvome o varovalni vlogi starega sestoja. Iz njegove raziskave razberemo tudi, da so bili višinski in debelinski prirastki senčenih mladih bukovih osebkov manjši od prirastkov nesenčenih. Razlika je bila tudi v tem primeru opazna še najmanj 8 let po sprostitvi. Višinski prirastki na prostem raslih mladih bukovih osebkov so presegali višinske prirastke zastrtih dreves za več kot 40 %, medtem ko so bili debelinski prirastki v povprečju večji za 48 %. Brinarjeva raziskava je pokazala tudi, da je bilo brstov osebkov raslih v senci manj in so bili krajši, lažji in volumensko manjši, kot brsti sproščeno raslih osebkov. Podobno kot za brste je veljalo tudi za liste. Bukev v polsenci razvije senčne liste, ki so tanjši, manjši in prosojnejši od svetlobnih. Tudi nekaj let po vzpostavitvi normalnih svetlobnih razmer ostajajo listi prej senčenih dreves enaki, kar, v nasprotju z ostalimi raziskavami, ne potrjuje domneve o hitri prilagodljivosti mladih bukovih osebkov na spremenjene svetlobne razmere. Posledica te zmanjšane rasti je bila proizvodnja trikrat manjšega volumna in dvakrat manjše mase suhe lesne snovi pri mladju pod zastorom v primerjavi z mladjem, ki je raslo sproščeno (Brinar, 1969).

Welander in Ottoson (1995) sta proučevala vpliv svetlobe na razvoj listov pri osebkih mladja. Število listov na osebek je bilo pri dvakrat manjši gostoti toka fotonov dvakrat manjše, pri čemer je bilo število listov na poganjek nespremenjeno. Na število poganjkov so bolj kot svetlobne razmere v tekočem letu vplivale svetlobne razmere v prvem letu razvoja osebkov (Welander in Ottoson, 1995).

Minotta in Pinzauti (1996) sta ugotovila negativen vpliv senčenja na razvoj mladih bukovih osebkov, saj je njuna raziskava pokazala, da svetlobne razmere vplivajo tudi na odvisnost rasti mladih bukovih osebkov od rodovitnosti tal. Rodovitnost tal v razmerah polne osvetljenosti značilno vpliva na razvoj osebkov, medtem ko pod zastorom tega vpliva ni. Vpliv polne osvetljenosti (sredina vrzeli s premerom 30 m) ima tudi negativne posledice, saj povzroči hitrejšo rast poganjkov in spremeni razmerje med maso poganjkov in korenin. Zaradi relativno počasnejšega razvoja korenin so taki osebki bolj občutljivi na sušne razmere (Minotta in Pinzauti, 1996).

Vpliv dotoka svetlobe na razvoj bukovega mladja je proučevala Collet s sodelavci (2001). V njeni raziskavi so bile vrednosti relativnega svetlobnega sevanja po izvedenem svetlitvenem redčenju med 5 in 15 %. Debelinski prirastek se je povečal v prvem letu po svetlitvenem redčenju, potem pa ni bilo nobenega trenda. Višinski prirastek se prvo leto ni povečal, naslednja tri leta pa se je povečeval. Količina vode v tleh je vplivala na debelinsko rast prvo leto. Količina vode v tleh v prejšnjem letu je vplivala na višinsko rast v naslednjem letu. Višinski prirastek se je po ukrepu povečeval ne glede na starost drevesca. V njeni raziskavi je bil najstarejši osebek bukovega mladja star 12 let, kar pomeni, da lahko bukova drevesca zdržijo v slabih svetlobnih razmerah najmanj omenjeno dobo (Collet in sod., 2001).

3 CILJ RAZISKOVANJA IN DELOVNE HIPOTEZE

Z našo raziskavo smo želeli ugotoviti relativno jakost ter prostorsko razporeditev svetlobe v sestojnih odprtinah in pod zastorom v pragozdu in prebiralnem gospodarskem gozdu na rastiščih dinarskih jelovo-bukovih gozdov v Sloveniji. S primerjalnimi raziskavami dinamike pomlajevanja smo želeli preveriti domnevo o izgubi apikalne dominanc osebkov bukovega mladovja po daljšem obdobju zastrtosti in obenem ugotoviti, ali obstaja povezava med svetlobo in dinamiko naravnega pomlajevanja bukve ter obliko razrasti mladovja.

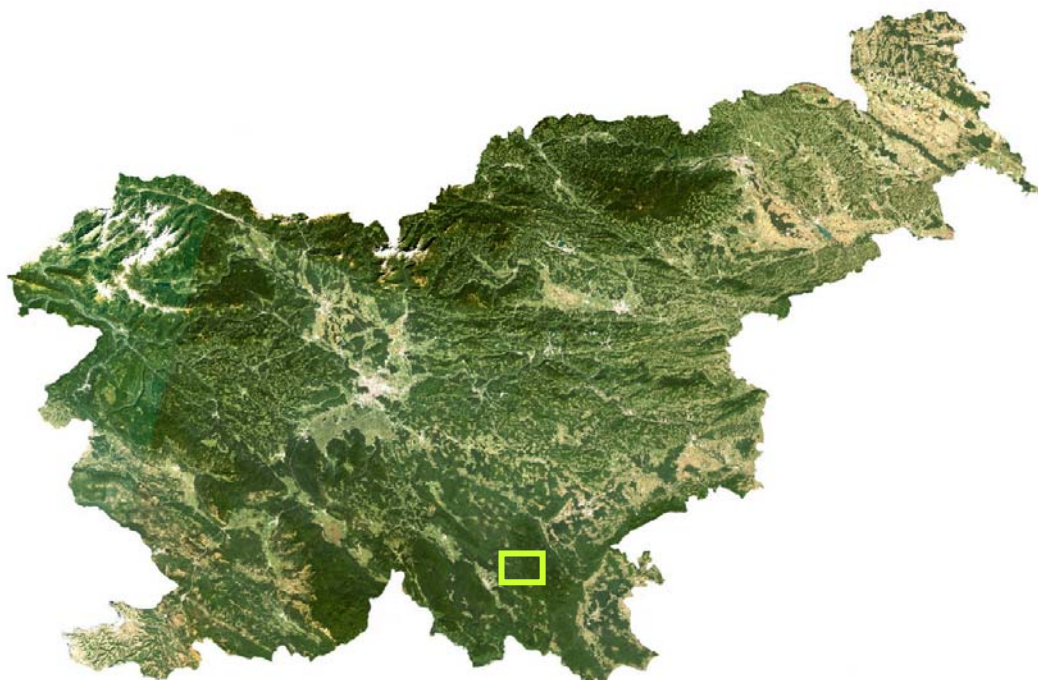
Delovne hipoteze:

- Svetlobne razmere v plasti mladovja v pragozdu in gospodarskem gozdu se razlikujejo.
- Med velikostjo sestojne vrzeli in svetlobnimi razmerami v in okoli vrzeli obstaja zveza.
- Svetlobne razmere so značilne glede na lokacijo v sestojni vrzeli.
- Majhni deleži relativne svetlobe negativno vplivajo na rast osebkov mladovja in povzročajo večje deleže plagiotropne rasti.
- Delež osebkov mladovja z rogovilo ali metlasto razrastjo je večji na lokacijah, ki prejmejo večje deleže relativne svetlobe.
- Razmerje med relativno razpršeno in direktno svetlobo vpliva na razrast osebkov mladovja.

4 MATERIAL IN METODE

4.1 OPIS RAZISKOVALNIH OBJEKTOV

Objekti raziskave se nahajajo na jugovzhodnem delu Slovenije (Slika 4) in sicer na območju novomeškega in Kočevskega Roga in obsegajo rastišča gorskih jelovo-bukovih gozdov. Gre za skrajni severni del Dinarskega gorstva, ki se od Slovenije proti jugovzhodu razprostira preko držav bivše Jugoslavije ob obali Jadranskega morja.



Slika 4: Lokacija raziskovalnega območja (prirejeno po Hladnik in Skvarča, 2006)

Figure 4: Location of the research area (adapted from Hladnik in Skvarča, 2006)

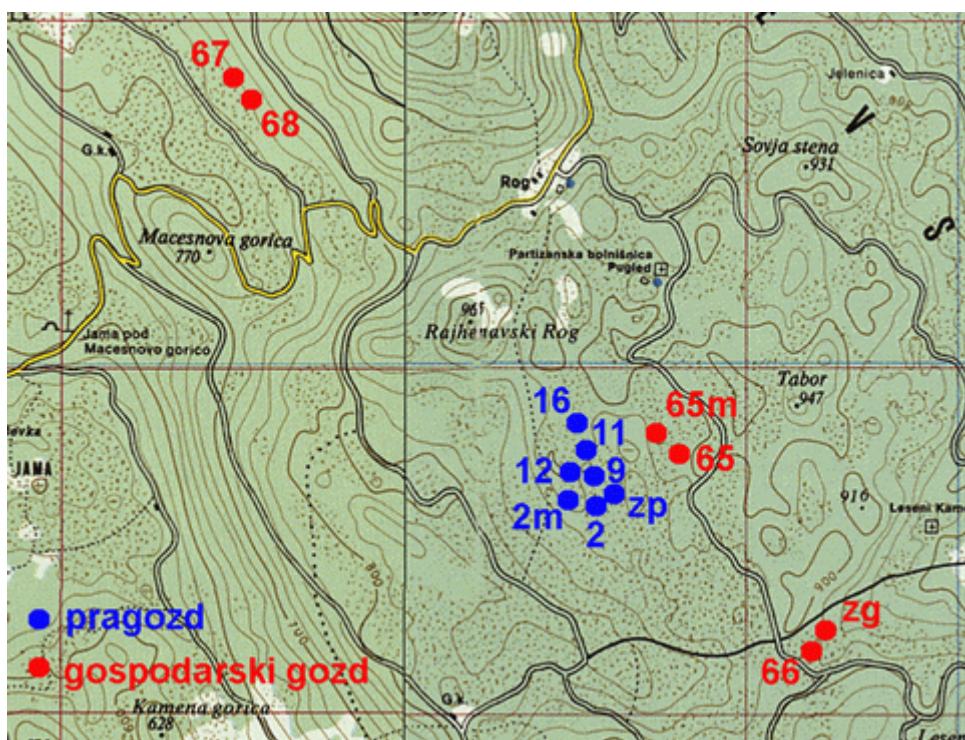
Klima območja raziskave se je izoblikovala pod vplivom celinskih podnebnih pojavov in pojavov, ki so posledica bližine Jadranskega morja. Spada v tako imenovani interferenčni podnebni tip s precejšno količino letnih padavin (1500 – 2000 mm) in izrazitim jesenskim padavinskim maksimumom (Kordiš, 1993). Povprečna količina padavin v bližini raziskovalnih ploskev (Žaga Rog) je bila tako v letih 2002-04 okoli 1600 mm (Vilhar in sod., 2005). Količina padavin je večja na južnih in zahodnih delih območja in v višjih legah (Marinček, 1987). Povprečne letne temperature se gibljejo

med 5 in 8°C in se z nadmorsko višino znižujejo. Veter je pomemben del klime, saj neposredno in posredno vpliva na razvoj gozdov. Najpogostejša je burja, ki prihaja iz smeri severa in severovzhoda.

Za raziskovalno območje je značilen razgiban makro in mikro relief in zelo pestre rastiščne razmere. Tla spadajo v pedosekvenco tal na trdih karbonatnih kamninah (apnencih in dolomitih), ki je najbolj razširjena pedosekvenca pri nas. Zaradi apnenca so značilni kraški pojavi kot vrtače, doline, strma skalna pobočja, kraška polja, ponikalnice in terase. Pestrost talnih tipov povečuje tudi razgiban mikrorelief matične kamenine, ki se kaže v skalnih žepih, razpokah, jamah in večjih kamnitih blokih in skalah, ki gledajo nad površino tal (Stritar, 1990). Najpogostejša so rjava pokarbonatna tla različnih razvojnih stopenj. Na vrhovih skalnih pobočij se pojavljajo rendzine, na dnu vrtač in dolin pa globoka rjava tla, ki so lahko tudi sprana. Rjava pokarbonatna tla spadajo med dobro do visoko rodovitna tla (Urbančič in Simončič, 2005) in skupaj z dovolj veliko količino padavin omogočajo razvoj različnih gozdnih vegetacijskih združb. Celotno območje, kjer je potekala raziskava, spada v dinarsko fitogeografsko območje, ki obsega še druge visoke kraške planote in pogorja v tem delu Slovenije. Značilne so ilirske vrste, ki se mešajo z alpsko in srednjeevropsko floro (Puncer, 1980).

Združba bukve in spomladanske torilnice (*Omphalodo-Fagetum* (TREG.57) MAR. *et al.* 93) je močno razširjena združba gorskih gozdov pri nas (Puncer, 1980), saj pokriva 15 % gozdnih površin v Sloveniji (Bončina in sod., 2003). Porašča strnjene predele slovenskih visokih kraških planot, od Snežnika do Trnovskega gozda. Je osnovna rastlinska oblika na snežniškem pogorju, kočevsko-ribniškem gorovju, Javornikih, Hrušici, Nanosu, Trnovskem gozdu, Idrijskem gorovju in krimsko-rakitniški planoti. Za vsa območja je značilno reliefno razgibano kraško površje z vrtačami in brezni. Delež površinske skalovitosti je velik in vodni viri so redki. Najpomembnejši in v lesni zalogi prevladujoči drevesni vrsti sta bela jelka (*Abies alba* Mill.) in navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.). Od ostalih vrst je najpogostejši gorski javor (*Acer pseudoplatanus* L.), pojavljajo pa se še gorski brest (*Ulmus glabra* Huds.), ostrolistni javor (*Acer platanooides* L.), navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karsten), lipa (*Tilia platyphyllos* Scop.) in nekatere manj pogoste drevesne vrste. Združba je razširjena v nadmorskih

višinah od 700 do 1200 m (Marinček, 1987; Acceto, 2001; Marinček in Čarni, 2002). Jelka in bukev kot dominantni vrsti sta relativno enakovredni v zgornji plasti teh gozdov, vendar jelka pogosto sega nekoliko više nad krošnje bukve. V preteklosti je prevladovalo mnenje, da različni načini gospodarjenja praviloma pospešujejo bukev in dajejo manj možnosti jelki kot bolj občutljivi vrsti, ki potrebuje več časa za uveljavitev v zgornjo drevesno plast (Puncer, 1980), vendar novejša raziskava nakazuje povečane deleže bukve tudi v pragozdovih, kjer je vpliv človeka minimalen (Roženberger, 2000). Grmovna plast je slabo razvita, bogato pa je razvita zeliščna plast, ki pomembno vpliva na pomlajevanje obeh dominantnih drevesnih vrst. Kljub konkurenci zelišč se v pragozdu obe drevesni vrsti dobro pomlajujeta, vendar je jelke v pomladku bistveno manj. Jelka se v pomladku pojavlja individualno, medtem ko je pomlajevanje bukve bujno in množično (Mlinšek, 1967), kar je mogoče opaziti predvsem v zadnjih treh desetletjih po velikih spremembah v deležih razvojnih faz (Močilnikar, 2006).



Slika 5: Lokacije vrzeli vključenih v raziskavo (Atlas Slovenije, 2005)

Figure 5: Locations of research gaps

Raziskava je potekala v pragozdnem rezervatu Rajhenavski Rog (45°66'N, 15°01'E, oddelek 31) in gospodarskih sestojih (oddelek 19), ki ležijo v gospodarski enoti (GGE)

Rog in spadajo pod gozdnogospodarsko območje (GGO) Kočevje. Del raziskovalnih ploskev se nahaja tudi v GGE Črmošnjice (oddelka 13 in 16) v GGO Novo mesto (Slika 5).

Po podatkih zadnje polne premerbe (1995) v rezervatu Rajhenavski Rog je bil delež jelke v lesni zalogi 57 %, bukev pa je zavzemala ostali delež. Skupna lesna zaloga je bila 788 m³/ha. V oddelkih gospodarskih gozdov, kjer je potekala raziskava, je bil delež jelke v skupni lesni zalogi manjši in se je gibal med 25 in 40 %, delež bukve je bil okoli 60 %, pojavljal pa se je tudi gorski javor z deleži do 8 %. Skupna lesna zaloga v teh gozdovih je bila od 450 do 500 m³/ha. Kljub manjšim razlikam v drevesni sestavi so rastiščne razmere med objekti primerljive, saj se nahajajo na podobnih nadmorskih višinah, imajo podobne razmere glede površinske skalovitosti in nagibov terena, obenem pa so bili vsi kartirani kot združba *Omphalodo-Fagetum* (TREG.57) MAR. et al. 93 (prej *Abieti-Fagetum* var.geogr. *Omphalodes verna* ZUP.&Punc.79).

4.2 METODE ZBIRANJA PODATKOV

4.2.1 Izbor vrzeli in postavitve raziskovalnih ploskev

Na opisanih lokacijah smo v letu 2000 s terenskim ogledom ter s pomočjo letalskih posnetkov in ortofoto kart izločili preko 100 sestojnih vrzeli, med katerimi smo jih za našo raziskavo izbrali 13, za namene kontrole pa še dve lokaciji pod zastorom. Vrzeli smo definirali kot odprtino v sklepu krošenj, v kateri je vegetacija nižja od polovice višine okoliškega sestoja. Tako smo na rastišču jelovega-bukovja v pragozdnem rezervatu Rajhenavski Rog izbrali 6 vrzeli in eno lokacijo pod zastorom (zp), v okolici rezervata v gospodarskem gozdu in na istih rastiščnih razmerah v gozdnogospodarskih enotah Rog in Črmošnjice pa še 5 vrzeli in eno lokacijo pod zastorom (zg) (Slika 5). Meritve smo v večini vrzeli opravili v letu 2000. Vrzeli 67 in 68 smo izmerili v letu 2001, lokacije pod zastorom pa v letu 2004.

Glavni kriteriji za izbor vrzeli so bili:

- (i) prisotnost in dobra razvitost naravnega mladovja, pretežno nižjega od 1,3 m,
- (ii) primerljivost vrzeli glede na razvito mladovje,
- (iii) homogenost sestojev v okolici vrzeli,
- (iv) nenegovanost mladovja v gospodarskem gozdu

Pri izbiri vrzeli je bila pomembna tudi velikost vrzeli, saj smo v raziskavo želeli vključiti največje vrzeli, ki se pojavljajo v pragozdu in njim rastiščno in sestojno primerljive male vrzeli s površino, ki ni manjša kot 200 m². Podoben vzorec smo potem poskušali dobiti tudi v gospodarskem gozdu (Preglednica 1).

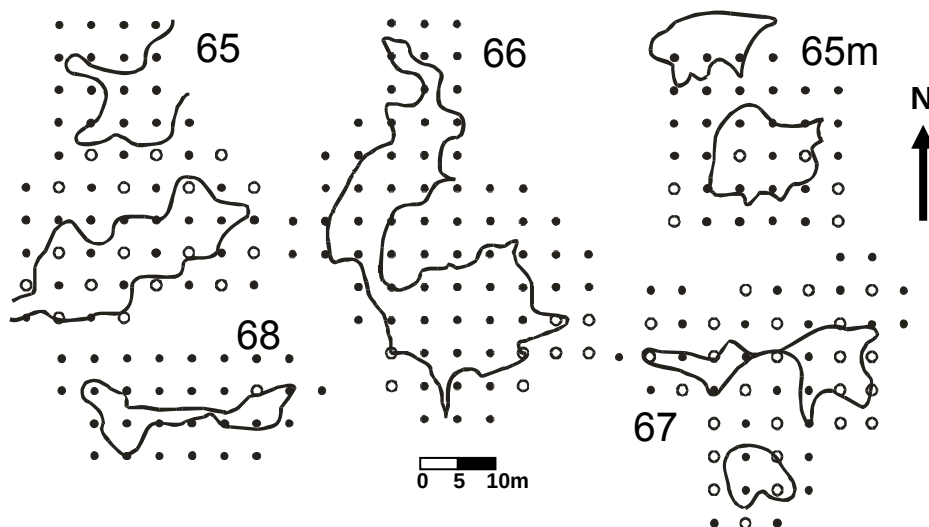
Preglednica 1: Osnovni podatki o vrzelih

Table 1: Basic gap data

Lokacija	Gospodarska enota	Oznaka vrzeli	Nadmorska višina (m)	Površina (m ²)	Število ploskev (N)	Ekspozicija
Pragozd Rajhenavski Rog	Rog	9	850	1317	44	vse
		12	865	783	44	-
		2	860	794	59	JZ
		16	860	245	37	V
		11	875	389	41	V
		2m	870	313	30	JV
		zp	900	-	89	JZ
Gospodarski gozd	Črmošnjice	66	880	657	32	vse
		65	880	588	27	JV
		65m	880	321	17	JV
		zg	900	-	68	JZ
	Rog	67	740	276	20	JZ
		68	750	129	23	JZ

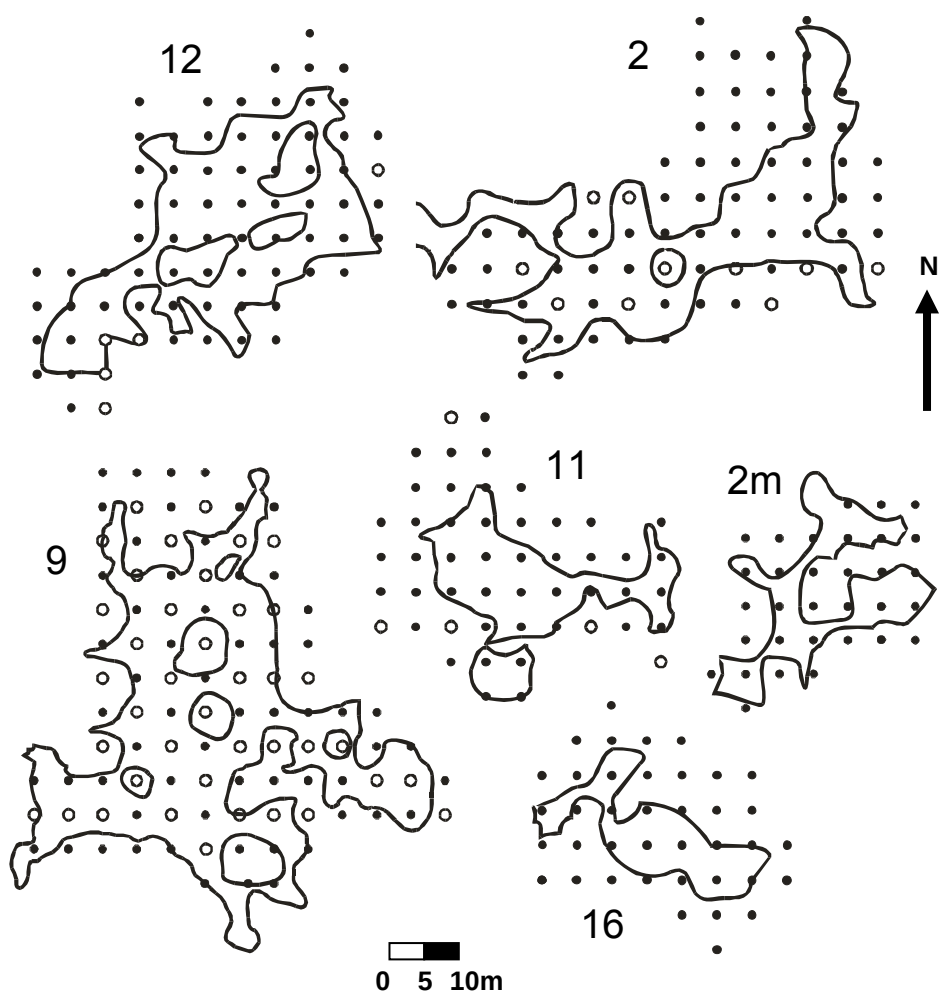
V vsaki vrzeli smo na sistematični mreži (5x5 m), orientirani v glavnih smereh neba, zakoličili več 2,25 m² velikih kvadratnih ploskev (1,5x1,5 m). V raziskavi smo

uporabili 531 tako postavljenih ploskev (Preglednica 1). Mrežo smo v povprečju za 5 m razširili tudi v okolico vrzeli pod zastor. Na severnem delu vrzeli, kjer direktno sevanje prodira globlje v sestoj, je razširitev segala 10 m pod krošnje okoliških dreves (Slika 6).



Slika 6: Gospodarski gozd - lokacije raziskovalnih ploskev (črne pike ali mali krogci) na sistematični mreži (5x5 m) v vrzeli (rob vrzeli je označen s črto) in v okolici vrzeli pod zastorom (prirejeno po Kolar, 2005).

Figure 6: Managed forest - research plots (black dots or small circles) located on a 5x5 m systematic grid in a gap (marked with line) and under the surrounding canopy (adapted from Kolar, 2005).



Slika 7: Pragozd - lokacija raziskovalnih ploskev (črne pike ali mali krogci) na sistematični mreži (5x5 m) v vrzeli (rob vrzeli je označen s črto) in v okolici vrzeli pod zastorom (prirejeno po Kolar, 2005).

Figure 7: Old-growth forest - research plots (black dots or small circles) located on a 5x5 m systematic grid in a gap (marked with line) and under the surrounding canopy (adapted from Kolar, 2005).

4.2.2 Meritve in ocene parametrov mladovja

Na vsaki raziskovalni ploskvi smo merili in ocenjevali naslednje parametre:

1) Zastiranje tal v deležih

Na 1 % natančno smo ocenjevali pokrovnost mladovja, zelišč, mrtvega lesa, nezastrtih tal, kamenja, opada in ostalega. Vsota vseh ocen na ploskvi je bila enaka 100 %, saj smo ocenjevali pokrovnost le za najvišjo plast oz. tiste elemente pokrovnosti, ki so bili vidni v pogledu od zgoraj.

2) Pokrovnost glavnih drevesnih vrst v deležih

Za vsako drevesno vrsto posebej smo na 1 % natančno ocenjevali pokrovnost. V tem primeru smo pokrovnost ocenjevali tudi, če sta se površini dveh dreves prekrivali, kar pomeni, da je bila vsota deležev zastiranja vseh drevesnih vrst lahko večja kot 100 %. Drevesne vrste, za katere smo ocenjevali pokrovnost, so bile bukev, jelka, gorski javor in ostale.

3) Gostoto klic in starejših osebkov mladovja po drevesnih vrstah

Na vsaki ploskvi smo prešteli vse enoletne klice in starejše osebke mladovja po drevesnih vrstah.

4) Lastnosti 5 dominantnih osebkov bukovega mladovja

Na vsaki ploskvi smo v mladovju izbrali 5 dominantnih osebkov bukovega mladovja in zabeležili:

- i) dolžino stegnjenega osebka na 1 cm natančno
- ii) dolžinski prirastek glavnega poganjka v zadnjem letu na 0,5 cm natančno
- iii) premer na koreninskem vratu na mm natančno
- iv) obliko razrasti terminalnega poganjka - enoosen, rogovilast ali metlast
- v) obliko razrasti celotnega osebka bukovega mladovja - enoosen raven, kriv, sabljast, kolenčast ali plagiotropen

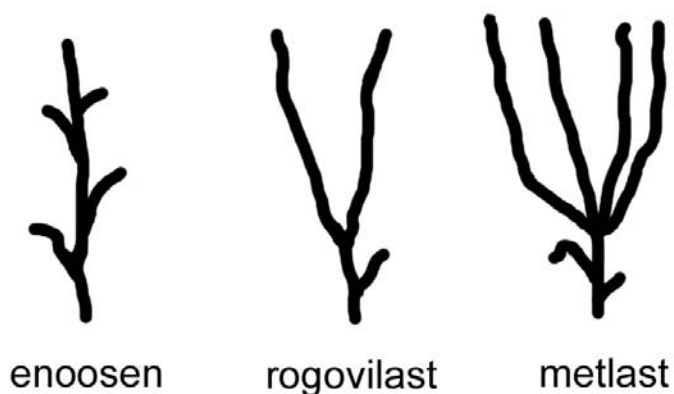
Na manjšem številu ploskev smo merili tudi:

- vi) prisotnost kresnega poganjka
- vii) dolžino terminalnega brsta glavnega poganjka
- viii) dolžino žive krošnje na cm natančno
- ix) višino osebka
- x) maksimalni premer krošnje na 5 cm natančno (MAX1)
- xi) največji premer krošnje v pravokotni smeri glede na maksimalni premer krošnje (MAX2)

Izbrani so bili vitalni in praviloma najvišji osebki zgornje plasti mladovja na ploskvi. Silaških osebkov, očitno starejših in višjih od okoliškega mladovja v meritvah nismo

upoštevali, prav tako nismo upoštevali osebkov, ki so bili kakorkoli poškodovani zaradi objedanja ali mehanskih razlogov. Skupaj smo na tak način premerili 1953 osebkov.

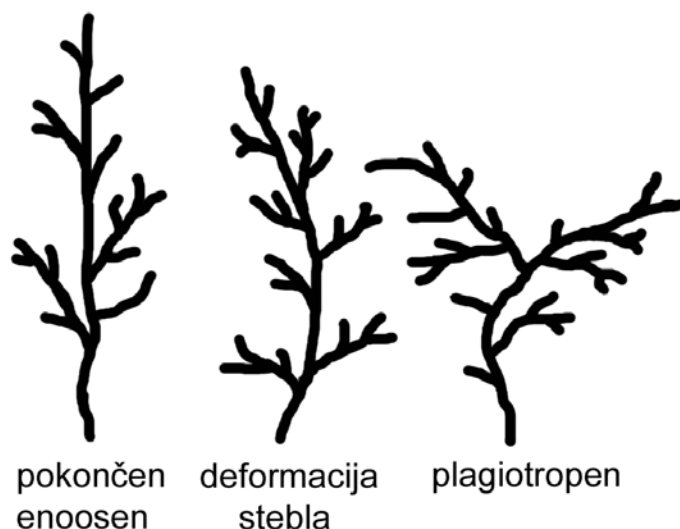
Ocenjevanje oblike razrasti glavnega poganjka in celotnega osebka bukovega mladovja smo priredili po Sagheb-Thalebi-ju (1996). Pri oceni oblike razrasti poganjka smo opazovali zgornje poganjke osebkov bukovega mladovja in jih uvrstili v eno od treh kategorij (Slika 8): i) enoosen – glavni poganjek je navpičen in izrazito dominanten nad stranskimi poganjki; ii) rogovilast – dva enakovredno razvita in enako visoka glavna poganjka; iii) metlast – trije ali več enakovredno razvitih in enako visokih glavnih poganjkov.



Slika 8: Oblike razrasti glavnega poganjka

Figure 8: Branching of the beech seedling top

Za opis razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja smo na terenu uporabljali pet kategorij, in sicer: enoosen raven, kriv, sabljast, kolenčast in plagitropen. Za namene analize podatkov smo zaradi mestoma težavne identifikacije uporabili le najbolj nedvoumno definirane kategorije in krive, sabljaste in kolenčaste osebke združili v eno kategorijo imenovano deformacija stebela.



Slika 9: Oblike razrasti celotnega osebka bukovega mladovja

Figure 9: Branching of the whole seedling

Tako smo v analizi uporabili tri kategorije razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja in sicer (Slika 9): i) pokončen enoosen – steblo drevesca je enoosno, ravno in pretežno v vertikalni smeri, glavni poganjek je viden in dobro razvit, koti izraščanja vej prvega reda so ostri; ii) deformacija stebila – steblo je krivo, sabljasto, kolenčasto ali kako drugače nepravilne oblike, glavni poganjek je viden vendar ne vedno najbolj razvit; iii) plagiotropen – osebek je plagiotropne oblike brez dominantne osi, veje in poganjki se razraščajo vzporedno s tlemi v pahljačasti obliki, glavnega poganjka ni mogoče določiti, koti izraščanja vej prvega reda so široki.

4.2.3 Meritve svetlobe

Sončno sevanje je elektromagnetno valovanje in daleč najpomembnejši vir energije na zemlji. Poleg tega da predstavlja vir energije za procese fotosinteze, sončno sevanje vpliva tudi na fiziološke in anatomske lastnosti rastlin, ki s svojimi fotoreceptorji sprejemajo informacije o trajanju, smeri, jakosti in spektralnih lastnostih sevanja in se nanje nato prilagodijo (Barnes in sod., 1998). Na zgornje plasti zemeljske atmosfere pride elektromagnetno valovanje, ki v plasteh atmosfere oslabi zaradi odboja in vpijanja. Tako do zemeljske površine prodre valovanje valovnih dolžin med 290 do 3000 nm (Larcher, 1983). Le del tega valovanja definiramo kot svetlobo, kamor sodijo

vsi radijski valovi, vidna svetloba, infrardeča svetloba in ultravijolična svetloba. Vidna svetloba je del elektromagnetnega valovanja z valovnimi dolžinami med 380-780 nm in le del tega spektra (380-710 nm), ki ga imenujemo fotosintetsko aktivno sevanje, so rastline sposobne uporabiti pri procesih fotosinteze.

Metode za merjenje in ocenjevanje sončnega sevanja v gozdnih ekosistemih razvijajo že dobrih 100 let in danes je na razpolago širok spekter metod (Tonne, 1954; Evans in Coombe, 1959; Welles, 1990; Welles in Norman, 1991; Comeau in sod., 1998; Gendron in sod., 1998; Diaci, 1999a; Hale in Edwards, 2002; Jonckheere in sod., 2004). V našem primeru se je kot najprimernejši kompromis med ceno in natančnostjo pokazala metoda preslikave nebesnega svoda, kjer s pomočjo objektivna ribje oko in klasičnega ali digitalnega fotoaparata preslikamo celotni nebesni svod na ravno podlago. Rezultat uporabe omenjene metode je hemisferna fotografija, ki jo kasneje s pomočjo programske in strojne opreme analiziramo in dobimo podatke o deležih direktnega in razpršenega sevanja na točki meritve v primerjavi z razmerami na prostem (Anderson, 1964; Diaci in Kolar, 2000; Frazer in sod., 2001; Soudani in sod., 2001; Inoue in sod., 2004). Ker je spekter elektromagnetnega sevanja, ki ga zazna fotoaparat, podoben spektru vidne svetlobe, smo deleže direktnega in razpršenega sevanja poimenovali kar relativna direktna in razpršena svetloba.

Uporabili smo klasični in digitalni fotoaparat z objektivom ribje oko. Z več sistematičnimi poskusnimi snemanji smo ugotovili, da direktno sončno sevanje močno zmanjša natančnost meritev, predvsem zaradi premočnih kontrastov na posnetkih in odbojev svetlobe od krošenj ali stekla objektivna. Zaradi tega smo vsa snemanja izvajali pred sončnim vzhodom ali po sončnem zahodu, ko ni bilo direktnega sončnega sevanja na objektivu ali v krošnjah dreves nad snemalno točko. V času snemanja smo kamero na vsaki točki orientirali proti severu in poravnali v horizontalno ravnino na višini 1,3 m od tal.

Klasični fotoaparat je bil znamke Nikon F50, objektiv pa Sigma 8 mm, f/4 ribje oko. Objektiv smo pred uporabo kalibrirali in tako določili popačenje. Uporabili smo Ilford PAN 400 črno beli film (ISO 400) in na vsaki točki z digitalnim svetlomerom določili

čas osvetlitve in zaslonko fotoaparata. Na vsaki ploskvi smo naredili tri posnetke in sicer enega z nastavitvami, ki smo jih odčitali na svetlomeru, enega z eno stopnjo bolj, in enega z eno stopnjo manj odprto zaslonko. Na tak način smo dobili vsaj eno primerno fotografijo za nadaljnje obdelave, saj smo ugotovili, da so manj osvetljeni posnetki primernejši za manjše vrzeli, nekoliko presvetljeni pa za velike vrzeli (Kolar, 2002). Posnetke smo digitalizirali z optičnim čitalcem za filme Nikon Coolscan III LS-30 35 mm Film Scanner z resolucijo 1350 točk na palec. Digitalne posnetke smo s pomočjo računalniškega orodja Corel PHOTO-PAINT 9 pretvorili v GIF format in jih analizirali s programsko opremo hemIMAGE (Brunner, 2002).

Na delu ploskev smo za ocenjevanje relativne razpršene in direktne svetlobe uporabili digitalni aparat znamke Nikon, model Coolpix 995 v kombinaciji s kalibriranim objektivom ribje oko. Snemali smo s pomočjo fotografskega stojala z nastavitvijo zrnatosti fotoaparata na ISO 400 in za dve stopnji bolj zastrto zaslonko, kot jo je predlagal fotoaparat.

Fotografije smo obdelali s programskim orodjem WinScanopy 2003 pro-b (Regent, 2003). Pri programski opremi smo uporabili naslednje nastavitve: i) trajanje vegetacijske dobe smo nastavili od 5. maja do 25. septembra; ii) za definicijo porazdelitve razpršene svetlobe v hemisferi smo uporabili standardni model zastrtega neba (ang. Standard overcast sky model – SOC) (Anderson, 1971); iii) položaj sonca smo izračunavali vsake 3 minute; iv) za solarno konstanto smo uporabili vrednost 1370 W/m²; v) za prepustnost atmosfere smo uporabili vrednost 0,6; vi) faktor pretvorbe Rad v PAR je bil 0,51; vii) delež razpršenega sevanja v direktnem sevanju smo nastavili na 0,15; viii) pri nastavitvah velikosti sonca smo uporabili nastavitev realna velikost; ix) za klasifikacijo slikovnih točk smo uporabili barvno lestvico.

Obe metodi za ocenjevanje svetlobe smo primerjali na 86 ploskvah in ugotovili, da so rezultati primerljivi (Pearsonov koeficient korelacije $R = 0,91$).

4.2.4 Analize podatkov

Svetlobne razmere smo analizirali za tri osnovne razrede ploskev: za ploskve v velikih vrzelih s površino nad 500 m², malih vrzelih s površino pod 500 m², ter za ploskve pod zastorom, posebej za pragozd in gospodarski gozd. Za ugotavljanje značilnih razlik med razredi smo uporabili neparametrični Kruskal-Wallis ali Mann-Whitney U test. Odvisnost svetlobnih razmer od velikosti vrzeli in oblike vrzeli smo proučevali s pomočjo korelacije.

Geometrijo vrzeli smo izrazili z indeksom oblike vrzeli (I_o), ki je definiran kot razmerje med obsegom vrzeli in obsegom kroga pri isti površini. Naraščanje indeksa nad 1 pomeni povečevanje nepravilnosti oblike vrzeli (Lertzman in Krebs, 1991).

Prostorsko porazdelitev znotraj vrzeli in pod zastorom smo posebej za razpršeno in direktno svetlobo prikazali s pomočjo prostorske interpolacije. Zgolj za prikaz osnovnih vzorcev pojavljanja obeh tipov svetlobe smo uporabili splošni kriging in linearni variogram, ki za našo vrsto podatkov daje dovolj dobre rezultate. Analizo smo opravili s pomočjo programske opreme Surfer 8 (Surfer 8 - User's guide, 2002).

Prostorsko pojavljanje posamezne kombinacije razpršene in direktne svetlobe (A, B, C in D), plagiotropne razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja ter metlaste razrasti glavnega poganjka za izbrane vrzeli in za lokacije pod zastorom smo prikazali z isto programsko opremo, vendar smo v teh primerih uporabili izmerjene in ne prostorsko interpolirane vrednosti.

Da bi ugotovili, kakšne so značilne svetlobne razmere in nekateri drugi dejavniki za posamezen tip razrasti glavnega poganjka in celotnih osebkov bukovega mladja, smo vse osebke razdelili v skupine glede na tip razrasti. Med skupinami smo testirali razlike s pomočjo neparametričnega Kruskal-Wallis testa. Da bi izenačili vpliv višine osebka na dolžinski prirastek glavnega poganjka v zadnjem letu smo v analizi uporabili spremenljivko relativni prirastek, ki je definirana kot razmerje med dolžino prirastka glavnega poganjka v zadnjem letu in skupno dolžino osebka bukovega mladovja. V isti analizi smo uporabili tudi spremenljivko dimenzijsko razmerje (HD), ki v našem

primeru predstavlja razmerje med dolžino osebka in premerom njegovega debelca nad koreninskim vratom. Nekateri avtorji tovrstno razmerje imenujejo tršatost, dimenzijsko razmerje pa definirajo kot razmerje med višino drevesa in njegovim premerom na višini 1,3 m. Premer na koreninskem vratu pri osebkih z višino do 2 m je primeren nadomestek premera na višini 1,3 m za večja drevesa, zato smo termin dimenzijsko razmerje uporabili v zgoraj navedenem kontekstu.

Pri analizah osnovnih dimenzij krošenj dominantnih bukovih drevesc smo za analizo oblikovali dva dodatna parametra: i) delež krošnje (DK), ki je definiran kot razmerje med dolžino krošnje in dolžino osebka in ii) razmerje med povprečno širino in dolžino krošnje (RSD), ki pa je razmerje med srednjo vrednostjo maksimalnega in največjega premera krošnje pravokotno na smer maksimalnega premera, ter dolžino krošnje ($RSD = ((MAX1 + MAX2)/2) / \text{dolžina krošnje}$). Na tak način smo poskušali zmanjšati variabilnost med posameznimi osebki v osnovnih parametrih krošenj, ki so posledica različnih višin in starosti.

Vpliv svetlobe na razrast glavnih poganjkov in celotnih osebkov bukovega mladovja smo zaradi neparametrične oblike odvisne spremenljivke preverjali s pomočjo logistične regresije, ki obenem tudi ne zahteva normalnosti porazdelitev. V primeru glavnih poganjkov je imela odvisna spremenljivka dve vrednosti: 0 za enoosen glavni poganjek in 1 za metlast glavni poganjek, medtem ko sta bili vrednosti odvisne spremenljivke pri analizi razrasti celotnega osebka 0 za pokončen in 1 za plagiotropen osebek. Neodvisni spremenljivki sta bili zvezni, direktna (FDIR) in razpršena (FDIF) svetloba. Analizo smo za vsako svetlobo opravili posebej, v programskem paketu Statistica for Windows 6.0 v modulu nelinearne logit regresije. Linearnost vpliva neodvisne spremenljivke na logit odvisne spremenljivke smo grafično analizirali in ugotovili, da ni potrebe, da bi jo diskretizirali.

Ker je analiza pokazala odvisnosti samo posebej za direktno in razpršeno svetlobo, smo želeli ugotoviti, ali obstaja značilna odvisnost tudi za kombinacijo obeh tipov svetlobe. Obe zvezni spremenljivki smo tako spremenili v eno opisno, ki smo jo pri analizi razrasti glavnega poganjka imenovali SVETL1, pri analizi celotnega osebka pa

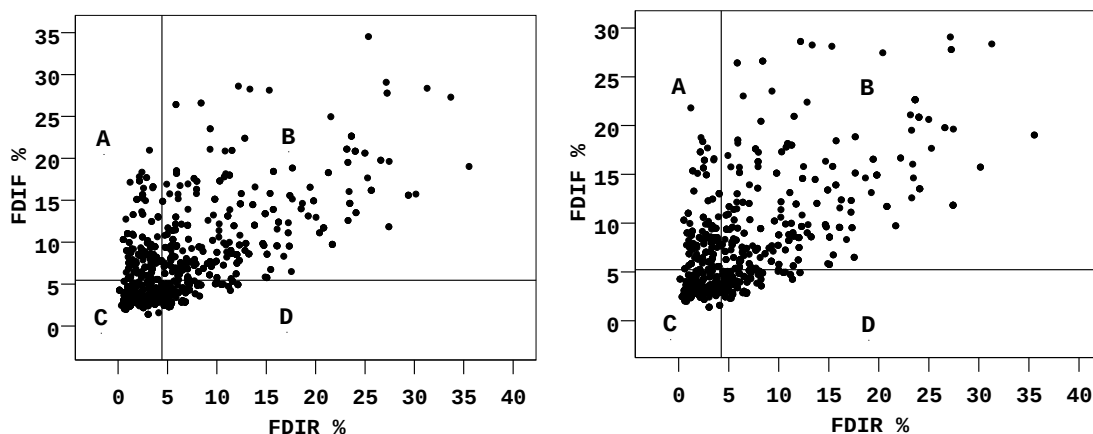
SVETL2. Omenjena spremenljivka je imela štiri vrednosti oz. razrede (A, B, C in D), glede na kombinacijo obeh vrst svetlobe (Preglednica 2).

Preglednica 2: Vrednosti relativne razpršene (FDIF) in direktne (FDIR) svetlobe za posamezen razred opisne spremenljivke (SVETL1 in SVETL2) uporabljene v logistični regresiji (+ velika vrednost; - majhna vrednost).

Table 2: Relative diffuse (FDIF) and direct (FDIR) radiation values according to different classes of categorical variable used in logistic regression procedure (+ high value; - low value)

Razred	Vrednost FDIF	Vrednost FDIR
A	+	-
B	+	+
C	-	-
D	-	+

Kriterij za uvrščanje sta bili obe vrednosti in mediane za posamezen tip svetlobe (Slika 10). Tako oblikovano opisno spremenljivko smo potem uporabili v modelu logistične regresije, pri čemer sta odvisni spremenljivki ostali isti.



Slika 10: Štirje razredi (A,B,C,D) opisne spremenljivke glede na mediane (črte znotraj grafa) relativne direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe, ki smo jih uporabili za ugotavljanje vpliva kombinacij tipov svetlobe na razrast glavnega poganjka (SVETL1; levo; N = 1269) in celotnega osebka bukovega mladovja (SVETL2; desno; N = 1059).

Figure 10: Four classes (A,B,C,D) of categorical variable according to median values (lines inside the figure) of relative diffuse (FDIF) and direct (FDIR) radiation. The variable was used for the analysis of relations between different combinations of both light components and seedling top (SVETL1; left; N = 1269) and whole seedling branching types (SVETL2; right; N = 1059).

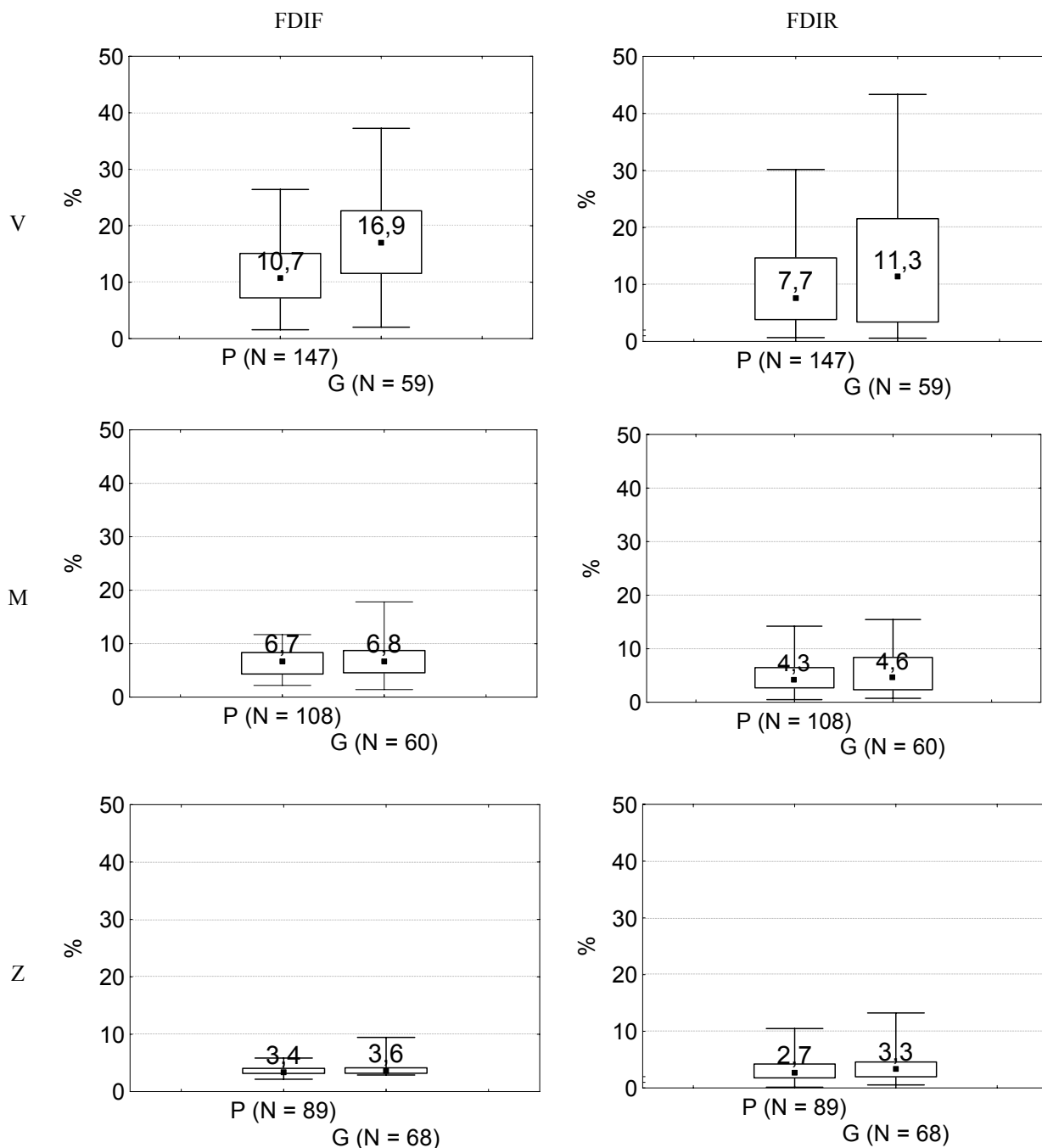
Za analizo smo uporabili modul binarna logistična regresija v programskem orodju SPSS 14 for Windows, ki sam ustvari umetne spremenljivke glede na to, kateri razred definiramo kot referenčni. V primeru analize razrasti glavnega poganjka smo kot referenčni razred izbrali razred C z majhnimi vrednostmi obeh tipov svetlobe, v primeru analize razrasti celotnih osebkov pa razred B, ki ima relativno velike vrednosti obeh tipov svetlobe. Pri interpretaciji smo uporabili podatke o statistični značilnosti in razmerju obetov za posamezen razred.

5 REZULTATI

5.1 SVETLOBNE RAZMERE

5.1.1 Svetlobne razmere v pragozdu in gospodarskem gozdu

Vse ploskve smo uvrstili v enega od treh tipov ploskev glede na svetlobne razmere: (i) ploskve v velikih vrzelih, (ii) ploskve v malih vrzelih in (iii) ploskve pod sklenjenim zastorom. Znotraj vsakega tipa smo s pomočjo Mann-Whitney U testa testirali razlike v deležih relativne razpršene in direktne svetlobe med pragozdom in gospodarskim gozdom in ugotovili značilne razlike le za ploskve v velikih vrzelih (FDIR: $U = 3545,5$; $p = 0,0408$, FDIF: $U = 2339,5$; $p < 0,0001$). Deleži relativne razpršene in direktne svetlobe so bili manjši v pragozdu kot v gospodarskem gozdu. Razlike v medianah za razpršeno (0,1 – 6,3 %) in direktno (0,3 – 3,6 %) svetlobo so bile sicer relativno majhne, vendar pa so bile ekstremne vrednosti in kvartilni razmaki v gospodarskem gozdu večji (Slika 11).



Slika 11: Mediane, kvartilni razmaki in ekstremne vrednosti (relativne razpršene (FDIF) in direktne (FDIR) svetlobe (%) v pragozdu (P) in gospodarskem gozdu (G) za ploskve v velikih (V; $p > 500 \text{ m}^2$) in malih (M; $p < 500 \text{ m}^2$) vrzelih in ploskve pod zastorom (Z), kot rezultat Mann-Whitney U testa.

Figure 11: Median values, quartile (box) and total range (whisker) as a result of Mann-Whitney U test for relative (%) direct (FDIR) and diffuse (FDIF) radiation in large gaps (V; $p > 500 \text{ m}^2$), small gaps (M; $p < 500 \text{ m}^2$) and under the canopy (Z) in old-growth (P) and managed (G) forest.

Deleži razpršene in direktne svetlobe so značilno različni, če primerjamo velike in male vrzeli ter zastor (Kruskal-Wallis test: FDIF: $H(2, N=531) = 250,4203$; $p < 0,0001$; FDIR: $H(2, N=531) = 107,4075$; $p < 0,0001$) skupaj, ne glede na to ali so v pragozdu ali gospodarskem gozdu. Vrednosti median v velikih vrzelih so v povprečju 3,4 krat večje od tistih pod sklenjenim zastorom (Slika 11).

5.1.2 Vpliv velikosti vrzeli na svetlobne razmere v vrzeli in njeni okolici

Velikost vrzeli značilno vpliva na svetlobne razmere. Značilen vpliv lahko opazimo le pri maksimalnih vrednostih svetlobe, medtem ko ni bilo značilnega vpliva na minimalne in srednje vrednosti v posamezni vrzeli (Preglednica 3).

Preglednica 3: Maksimalne (maks.), povprečne (povp.) in minimalne (min.) vrednosti relativne direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe ter indeks oblike (I_o) v posameznih vrzelih. Prikazani so tudi determinacijski koeficienti (r^2) ter statistična značilnost (p) za korelacijo med površino vrzeli (P) in različnimi vrednostmi relativne svetlobe.

Table 3: Maximum (maks.), average (povp.) and minimum (min.) values for relative direct (FDIR) and diffuse (FDIF) radiation together with gap shape index (I_o) in gaps and coefficients of determination (r^2) with significance of the correlation (p) between the size of gaps (P) and different values of both relative radiation components.

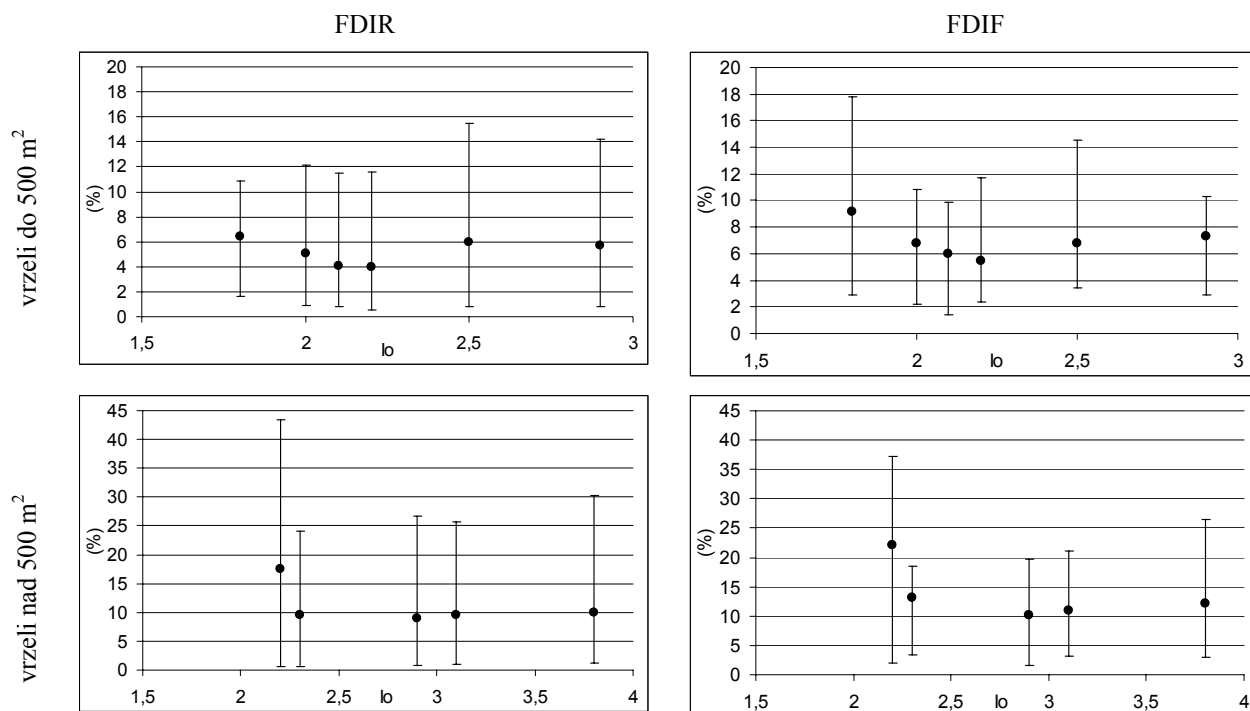
Vrzel	P (m ²)	I_o	n	FDIR (%)			FDIF (%)		
				maks.	povp.	min.	maks.	povp.	min.
2	794	3,1	59	25,6	9,6	1,0	21,1	11,0	3,1
2m	313	2,9	30	14,2	5,7	0,8	10,4	7,3	2,9
9	1317	3,8	44	30,2	9,9	1,2	26,4	12,2	3,1
11	389	2,2	41	11,6	4,0	0,5	11,7	5,5	2,4
12	783	2,9	44	26,6	9,0	0,7	19,8	10,1	1,6
16	245	2,0	37	12,1	5,1	0,9	10,8	6,8	2,2
65	588	2,2	27	43,3	17,5	0,6	37,2	22,1	2,0
65m	321	1,8	17	10,9	6,4	1,6	17,8	9,2	2,9
66	657	2,3	32	24,1	9,5	0,6	18,5	13,1	3,4
67	276	2,5	20	15,5	6,0	0,8	14,6	6,8	3,4
68	129	2,1	23	11,5	4,1	0,8	9,9	6,0	1,4
r^2				0,4564	0,2871	0,0357	0,3921	0,2269	0,0680
p				0,0225	0,0894	0,5779	0,0393	0,1386	0,4387

Odvisnost med velikostjo vrzeli, ki smo jo definirali kot velikost odprtine brez zastora odraslih dreves, in svetlobo je bila pozitivna za maksimalne vrednosti svetlobe. Nekoliko bolj izrazita je odvisnost med velikostjo vrzeli in relativno direktno svetlobo (Preglednica 3).

Predstavljeni rezultati veljajo za vsako posamezno vrzel kot celoto, kar pomeni, da vključujejo ploskve brez zastora zgornje plasti in hkrati ploskve pod zastorom v okolici vrzeli. Da bi preverili, ali se vpliv velikosti vrzeli na svetlobne razmere bistveno spremeni, če gre za ploskve brez zastora ali pod zastorom, smo zgornjo analizo ponovili posebej za oba primera. Domnevali smo, da bo vpliv velikosti vrzeli na ploskvah pod zastorom manjši ali celo neznačilen v primerjavi s ploskvami brez zastora. Analiza je pokazala, da obstaja značilna pozitivna zveza med velikostjo vrzeli in maksimalnimi in srednjimi vrednostmi svetlobe tako za ploskve brez zastora (maks.: $r^2 = 0,78$, $p = 0,0007$; povp.: $r^2 = 0,52$, $p = 0,0182$) kot tudi za ploskve pod zastorom (maks.: $r^2 = 0,65$, $p = 0,0051$; povp.: $r^2 = 0,43$, $p = 0,0407$), le da je v zadnjem primeru vpliv manj izrazit. V analizi smo obenem tudi preverili, ali je odvisnost med velikostjo vrzeli in svetlobnimi razmerami različna v pragozdu in gospodarskem gozdu. Ugotovili smo, da je odvisnost nekoliko močnejša v gospodarskem gozdu (maks.: $r^2 = 0,99$, $p = 0,0460$; povp.: $r^2 = 0,99$, $p = 0,0696$), vendar relativno velika tudi v pragozdu (maks.: $r^2 = 0,83$, $p = 0,0117$; povp.: $r^2 = 0,67$, $p = 0,0382$).

Pri analizi oblike vrzeli smo zaradi boljše preglednosti in zaradi podobnosti glede svetlobnih razmer, vse vrzeli razdelili v dve skupini glede na to, ali je bila vrzel velika manj ali več kot 500 m².

Maksimalne vrednosti in intervali direktne svetlobe so se povečevali z večanjem indeksa oblike vrzeli pri malih vrzelih. Pri velikih vrzelih lahko največji interval in maksimalno vrednost relativne razpršene in tudi direktne svetlobe opazimo pri najbolj enostavno oblikovani vrzeli z najmanjšim indeksom oblike. Za razpršeno svetlobo smo v skupini manjših vrzeli opazili manjše maksimalne vrednosti in intervale pri večjih vrednostih indeksa oblike (Slika 12).

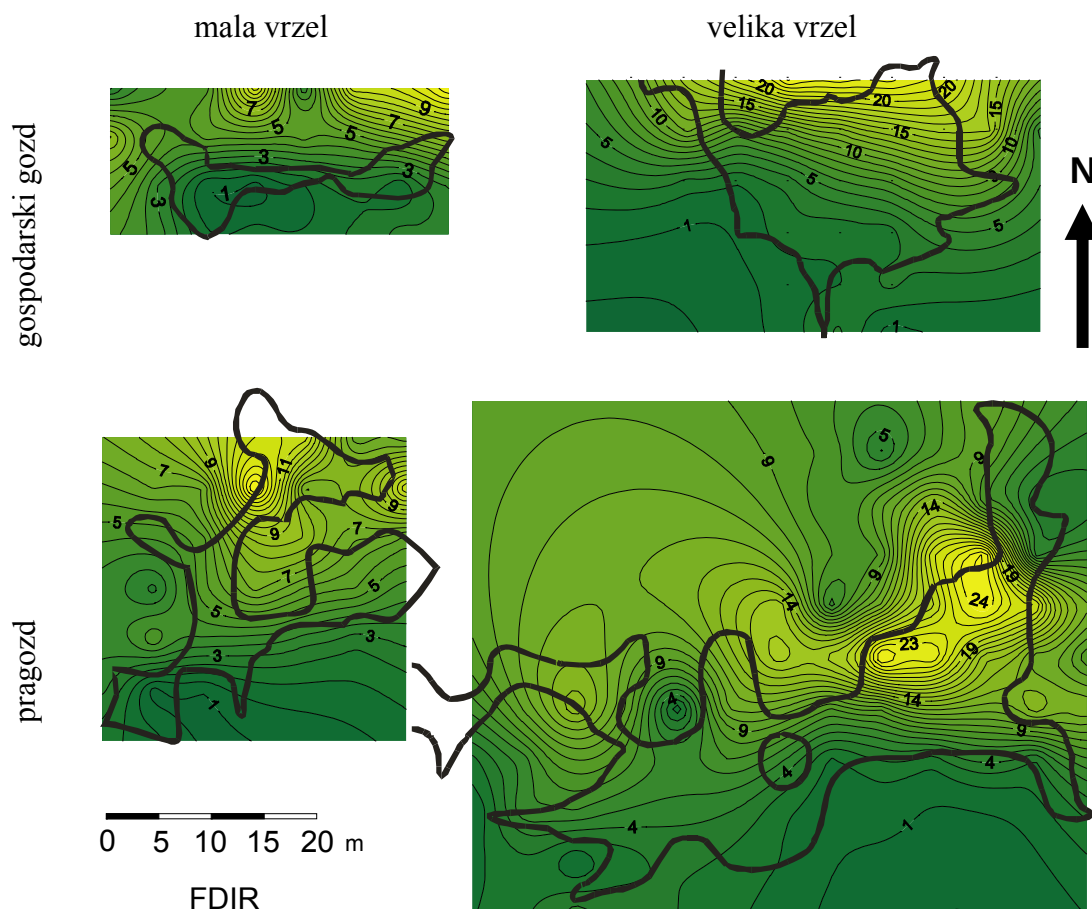


Slika 12: Maksimalne (maks.), povprečne (povp.) in minimalne (min.) vrednosti direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe v odvisnosti od indeksa oblike vrzeli (I_o).

Figure 12: Maximum (maks.), average (povp.) and minimum (min.) values for relative direct (FDIR) and diffuse (FDIF) radiation according to gap shape index (I_o).

5.1.3 Prostorska razporeditev svetlobnih razmer znotraj vrzeli in pod zastorom

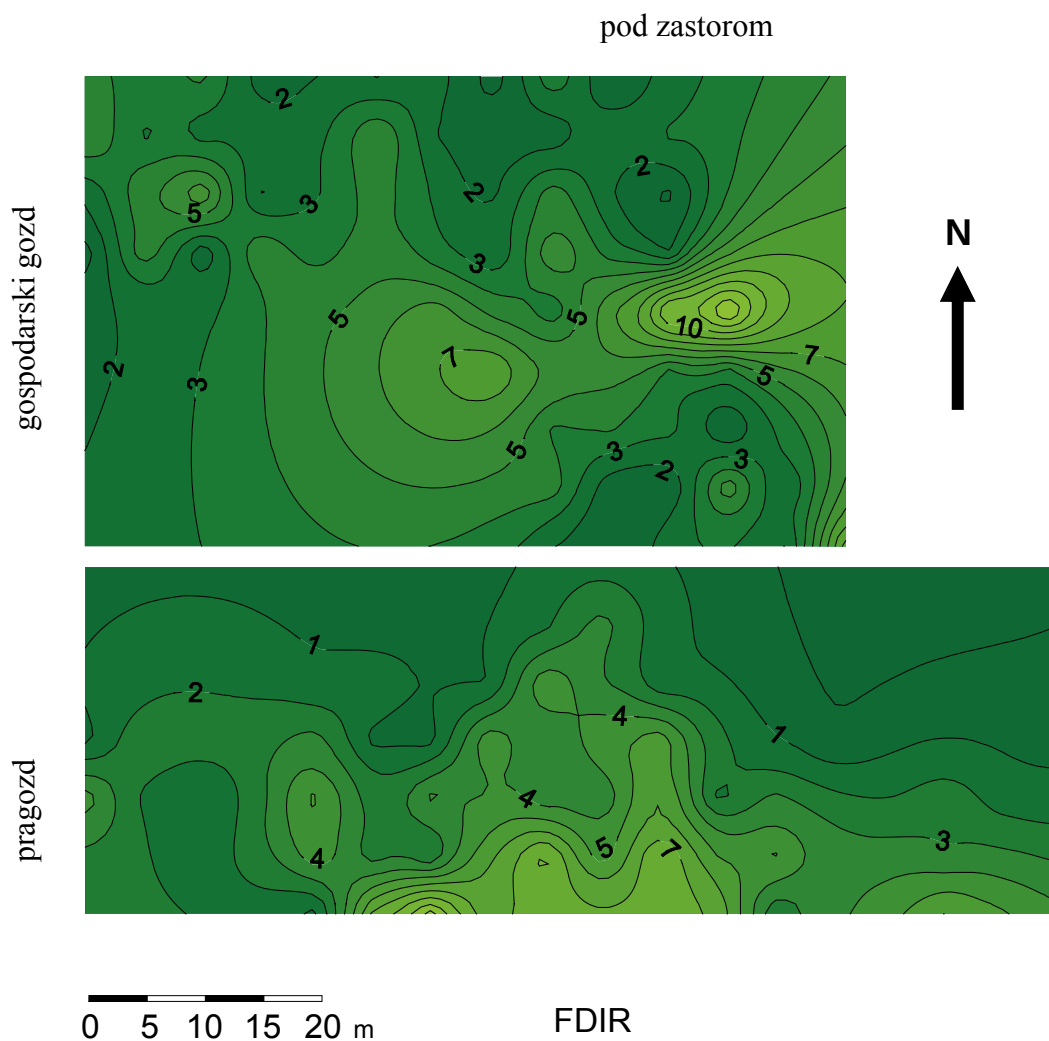
Vsako ploskev znotraj vrzeli smo prostorsko opredelili, kar nam je omogočilo opazovanje vzorcev pojavljanja posameznega dejavnika znotraj in v okolici vrzeli. Grafično smo predstavili le za našo raziskavo najbolj zanimive dejavnike, in sicer: prostorsko porazdelitev posebej za razpršeno in direktno svetlobo (Slika 13, Slika 14, Slika 15 in Slika 17), ter pojavljanje posamezne kombinacije razpršene in direktne svetlobe (Slika 17 in Slika 18). Te dejavnike smo prikazali za največjo vrzel in njej najbolj reliefno in sestojno podobno malo vrzel ter za lokacijo pod zastorom, posebej za pragozd in gospodarski gozd. Prikazane vrzeli so reprezentativne v smislu svetlobnih razmer in prostorske razporeditve različnih vrednosti direktne in razpršene svetlobe.



Slika 13: Prostorska razporeditev direktne svetlobe (FDIR) v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.

Figure 13: Spatial distribution of direct radiation (FDIR) in largest research canopy gap and small gap with similar site and stand conditions in virgin and managed forest. Bold line represents the edge of the gap.

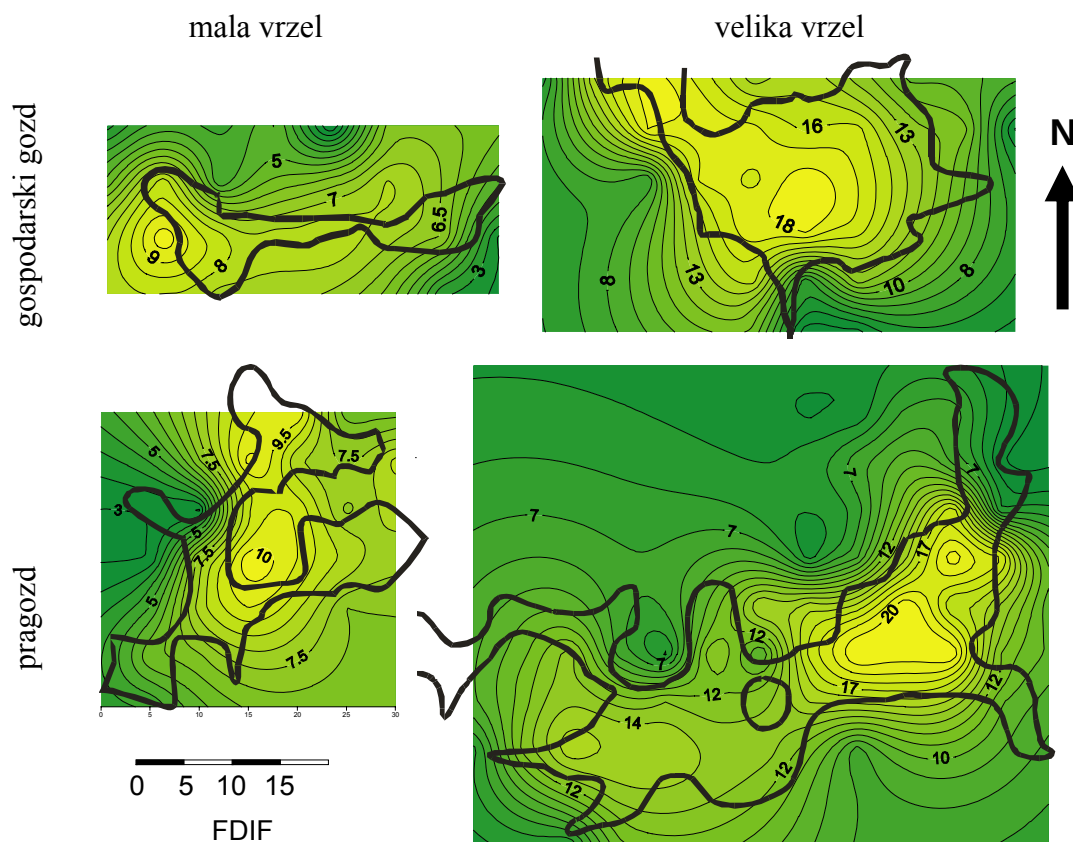
Slika 13 prikazuje prostorsko razporeditev direktne svetlobe. Največje vrednosti se v vseh primerih nahajajo pod zastorom severno od vrzeli ter v primeru velikih vrzeli tudi na severnem delu vrzeli. V malih vrzelih le redko (odvisno od oblike vrzeli) lahko najdemo največje vrednosti direktne svetlobe neposredno v področju brez zastora. Z velikostjo vrzeli se količina direktne svetlobe povečuje kljub različnim oblikam vrzeli.



Slika 14: Prostorska razporeditev direktne svetlobe (FDIR) pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.

Figure 14: Spatial distribution of direct radiation (FDIR) under the closed canopy in managed and virgin forest.

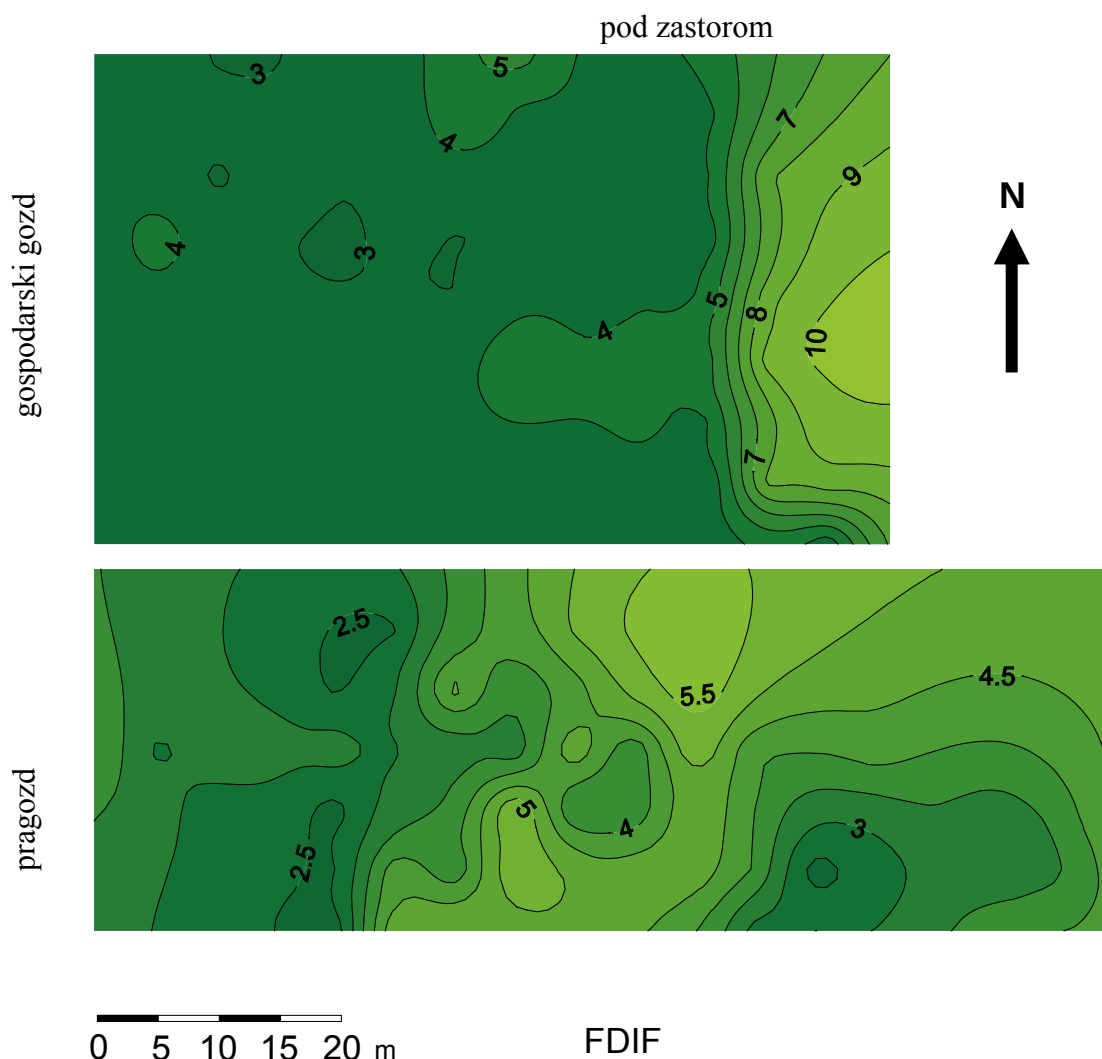
Direktne svetlobe je pod zastorom pričakovano manj kot v vrzeli (Slika 14) in v najbolj zastrtih delih sestoja so vrednosti med 1 in 3 %. Svetlobne razmere so pod zastorom bolj homogene, vendar so kljub temu lahko točkovne vrednosti direktne svetlobe nekoliko večje. To je predvsem posledica pestre vertikalne strukture sestojev in s tem povezane pretrganosti sklepa južno od raziskovalnih ploskev.



Slika 15: Prostorska razporeditev razpršene svetlobe (FDIF) v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.

Figure 15: Spatial distribution of diffuse radiation (FDIF) in largest research canopy gap and small gap with similar site and stand conditions in virgin and managed forest. Bold line represents the edge of the gap.

Vzorci pojavljanja različnih vrednosti razpršene svetlobe se razlikujejo od tistih, ki so značilni za direktno svetlobo, in so v veliki meri odvisni od oblike vrzeli. Vrednosti razpršene svetlobe se povečujejo od roba proti notranjosti vrzeli (Slika 15). Vpliv vrzeli na razpršeno sevanje pod zastorom v okolici vrzeli relativno hitro pojema.

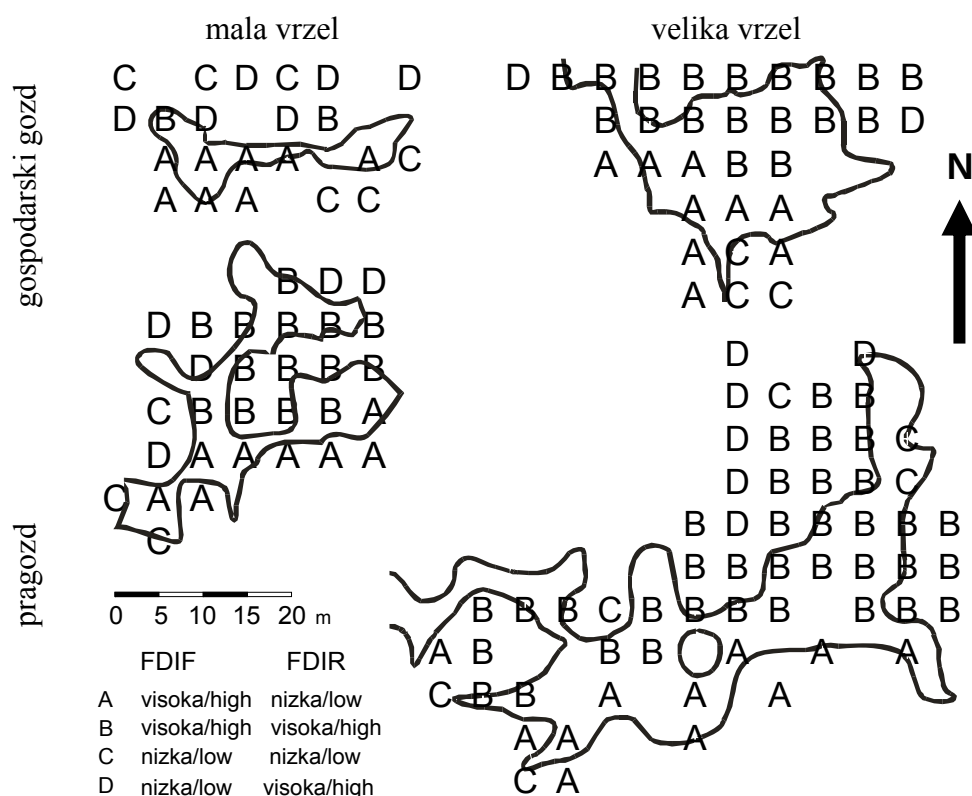


Slika 16: Prostorska razporeditev razpršene svetlobe (FDIF) pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.

Figure 16: Spatial distribution of diffuse radiation (FDIF) under the closed canopy in managed and virgin forest.

Ravno tako kot direktne je tudi razpršene svetlobe pod zastorom malo, saj praviloma ne presega vrednosti 5 % (Slika 16). V primerjavi z direktno svetlobo, ki lahko pod zastorom doseže tudi vrednost 0, je razpršena svetloba vedno prisotna, saj nismo izmerili vrednosti manjše od 1,4 %. Prostorska porazdelitev posameznih vrednosti razpršene svetlobe je veliko bolj, kot v primeru direktne svetlobe, odvisna od sklepa neposredno nad točko merjenja. Kljub temu prisotnost večjih vrzeli v bližini spremeni svetlobne razmere, kar je razvidno tudi iz obeh slik (Slika 14 in Slika 16), ki predstavljata prostorsko porazdelitev direktne in razpršene svetlobe pod zastorom.

V primeru gospodarskega gozda je bila vrzel vzhodno, v primeru pragozda pa južno od raziskovalnih ploskev, kar je vsaj deloma vplivalo na svetlobne razmere, izmerjene na naših raziskovalnih ploskvah (Slika 14 in Slika 16). V obeh primerih je bila vrzel oddaljena najmanj 1,5 sestojne višine od raziskovalnih ploskev.

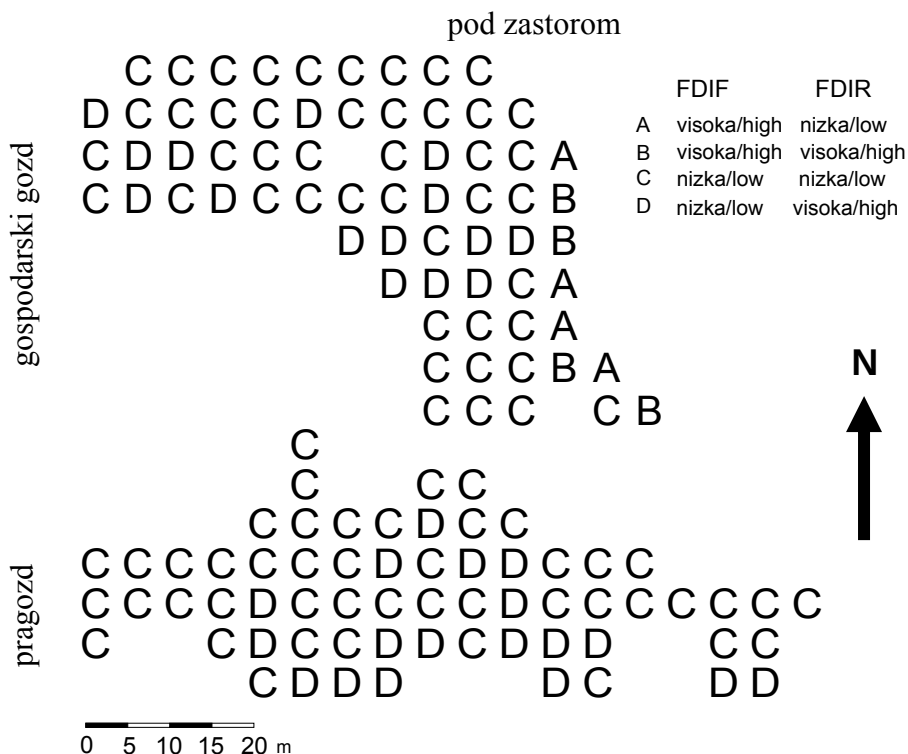


Slika 17: Prostorska razporeditev štirih svetlobnih razredov (A,B,C,D) glede na jakost direktne (FDIR) in razpršene svetlobe (FDIF) v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.

Figure 17: Spatial distribution of four radiation classes (A,B,C,D) according to different levels of direct (FDIR) and diffuse radiation (FDIF) in largest research canopy gap and small gap with similar site and stand conditions in virgin and managed forest. Bold line represents the edge of the gap.

Kombinacije svetlobnih razmer, ki smo jih izrazili s štirimi razredi (A,B,C,D) glede na jakost direktne in razpršene svetlobe, kljub pestrosti oblik in velikosti vrzeli kažejo določeno značilno prostorsko porazdelitev. Razred A z velikimi jakostmi razpršene in majhnimi jakostmi direktne svetlobe se praviloma pojavlja v južnem delu vrzeli in deloma pod zastorom. Razred B z velikimi jakostmi obeh tipov svetlobe je značilen za severni del vrzeli in dostikrat sega na severu pod zastor. Razred C, ki ima majhne vrednosti obeh tipov svetlobe, se nahaja vzhodno in zahodno ter deloma južno od vrzeli

pod zastorom. Razred D, kjer so vrednosti direktne svetlobe velike, razpršene svetlobe pa majhne, najdemo severno od vrzeli pod zastorom (Slika 17).



Slika 18: Prostorska razporeditev štirih svetlobnih razredov (A,B,C,D) glede na jakost direktne (FDIR) in razpršene svetlobe (FDIF) pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.

Figure 18: Spatial distribution of four radiation classes (A,B,C,D) according to different levels of direct (FDIR) and diffuse radiation (FDIF) under closed canopy in virgin and managed forest.

Pod zastorom se zaradi majhnih vrednosti direktne in razpršene svetlobe na večini ploskev pojavlja razred C. Relativno pogosto se pojavlja tudi razred D, ki pa nima neke značilne prostorske razporeditve (Slika 18). Njegovo pojavljanje je odvisno od razporeditve manjših vrzeli v sklepu krošenj, ki lahko prepuščajo le nekaj sončnih žarkov in tako zelo točkovno omejeno vendar relativno intenzivno spreminjajo jakost direktne svetlobe. Delež in razporeditev vrzeli v sklepu krošenj v manjši meri vpliva na razpršeno svetlobo, ki je pod zastorom zato bolj homogena, kar se kaže v zelo redkem pojavljanju razreda A. Razred B se pod zastorom praviloma ne pojavlja. V primeru gospodarskega gozda se nahaja na vzhodni strani raziskovanega območja zaradi vpliva bližnje sestojne vrzeli.

5.1.4 Osnovni parametri z meritev na ploskvah v pragozdu in gospodarskem gozdu

Za lažje razumevanje splošnih razmer, v katerih je potekala raziskava, smo analizirali nekatere osnovne parametre z meritev na ploskvah posebej za pragozd in gospodarski gozd. Razlike smo preverjali z neparametričnim Mann-Whitney U testom (Preglednica 4).

Primerjava deležev zastiranja ploskve je pokazala značilno večje zastiranje mladovja in manjše zastiranje zeliščne plasti v pragozdu. Primerjava zastiranja po drevesnih vrstah ni pokazala bistvenih razlik. V pragozdu so drevesni ostanki zastirali v povprečju 7,5 % površine. V gospodarskem gozdu pa okoli 1,2 %. Značilne toda majhne so bile razlike v gostoti klic. V pragozdu je bila gostota osebkov mladovja bukve značilno večja (6,44 na m²) kot v gospodarskem gozdu (5,99 na m²). Pri jelki je bila razlika le 0,17 na m², medtem ko je bilo gorskega javorja v povprečju šestkrat več v gospodarskem gozdu (4,92 na m²). V pragozdu je bila dolžina dominantnih osebkov bukve v povprečju 10 cm večja kot v gospodarskem gozdu. Večji so bili tudi dolžinski prirastek, relativni dolžinski prirastek, premer in HD razmerje.

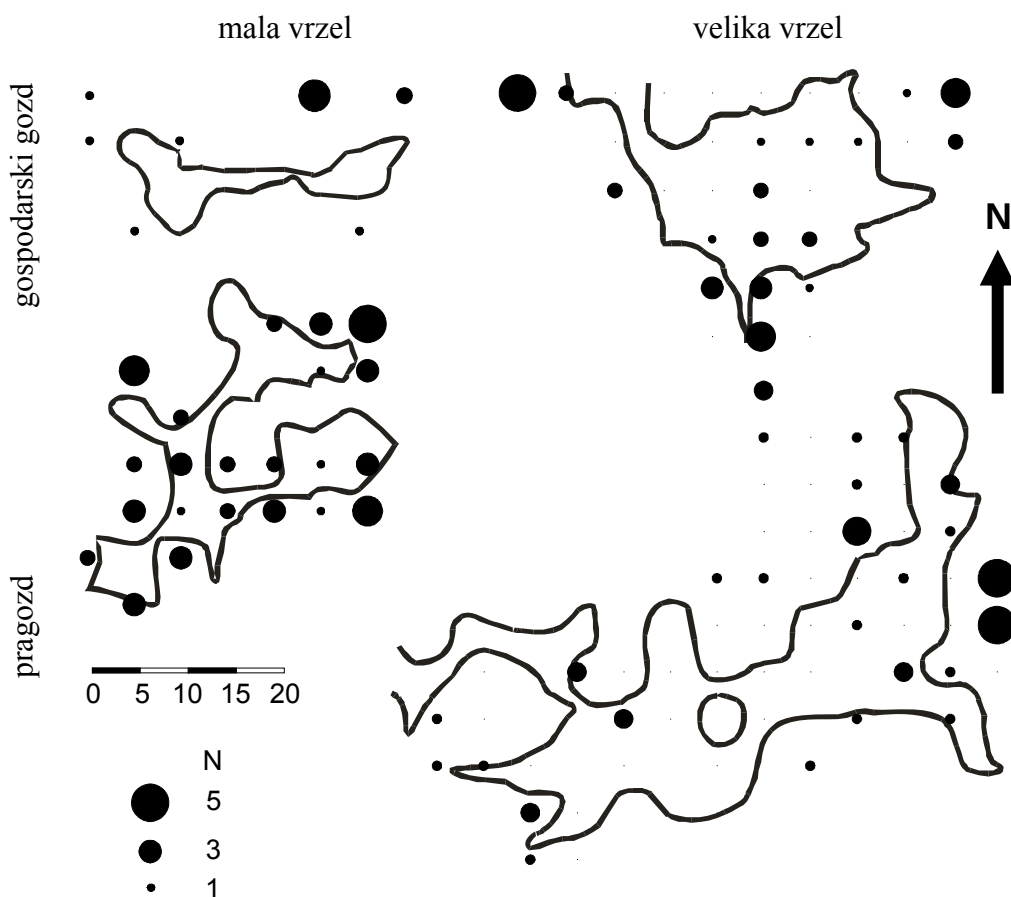
Preglednica 4: Velikost vzorca (N), aritmetična sredina (M), mediana (Me) in statistična značilnost razlik med pragozdom in gospodarskim gozdom (p) za izbrane parametre.

Table 4 : Sample size (N), mean (M), median (Me) and significance of differences between old-growth and managed forest (p).

Zastiranje / Coverage (%)	pragozd				gospodarski gozd				p
	N	M	SD	Me	N	M	SD	Me	
Mladovje / Woody regeneration	1332	48,64	33,45	46,00	621	41,62	31,03	35,00	0,0000
Zelišča / Ground vegetation	1332	11,14	11,12	8,00	621	20,32	18,40	14,00	0,0000
Drevesni ostanki / Coarse woody debris	1332	7,51	13,67	2,00	621	1,23	3,56	0,00	0,0000
Stelja / Litter	1332	30,77	25,63	26,00	621	32,19	24,81	30,00	0,1455
Skale / Rocks	1332	0,99	1,86	0,00	621	2,39	3,90	1,00	0,0000
Bukev / Beech	917	44,27	32,51	38,00	320	42,60	33,45	39,00	0,2779
Jelka / Silver fir	917	0,39	0,51	0,20	320	0,73	4,07	0,10	0,4952
G. javor / Sycamore maple	917	0,47	0,91	0,00	320	1,81	3,21	0,50	0,0000
Gostote / Densities (N/m ²)	N	M	SD	Me	N	M	SD	Me	p
Bukev - klice / Beech - one year old	1332	0,31	0,88	0,00	621	0,24	0,84	0,00	0,0000
Jelka - klice / Silver fir - one year old	1332	0,63	0,86	0,44	621	0,28	0,64	0,00	0,0000
G. javor - klice / Sycamore m. - one year old	1332	0,16	0,81	0,00	621	0,58	0,97	0,00	0,0000
Bukev / Beech	1332	6,44	4,59	5,78	621	5,99	4,83	4,44	0,0014
Jelka / Silver fir	1332	0,49	0,72	0,00	621	0,66	0,78	0,44	0,0000
G. javor / Sycamore maple	1332	0,86	1,71	0,00	621	4,92	5,34	3,11	0,0000
Dominantni osebki bukve / Dominant beech seedlings	N	M	SD	Me	N	M	SD	Me	p
Dolžina / Length (cm)	1332	80,71	57,22	70,00	621	70,29	55,34	54,00	0,0000
Dolžinski prirastek / Length increment (cm)	1332	12,87	8,77	11,00	621	10,28	10,62	6,00	0,0000
Relativni dolžinski prirastek / relative length increment (cm)	1332	0,18	0,09	0,18	621	0,14	0,08	0,13	0,0000
Premjer / Diameter (mm)	1332	9,75	6,17	9,00	621	8,76	5,92	7,00	0,0000
HD	1331	80,43	21,68	78,00	619	74,88	21,32	73,33	0,0000

5.1.5 Prostorska razporeditev izbranih parametrov znotraj vrzeli in pod zastorom

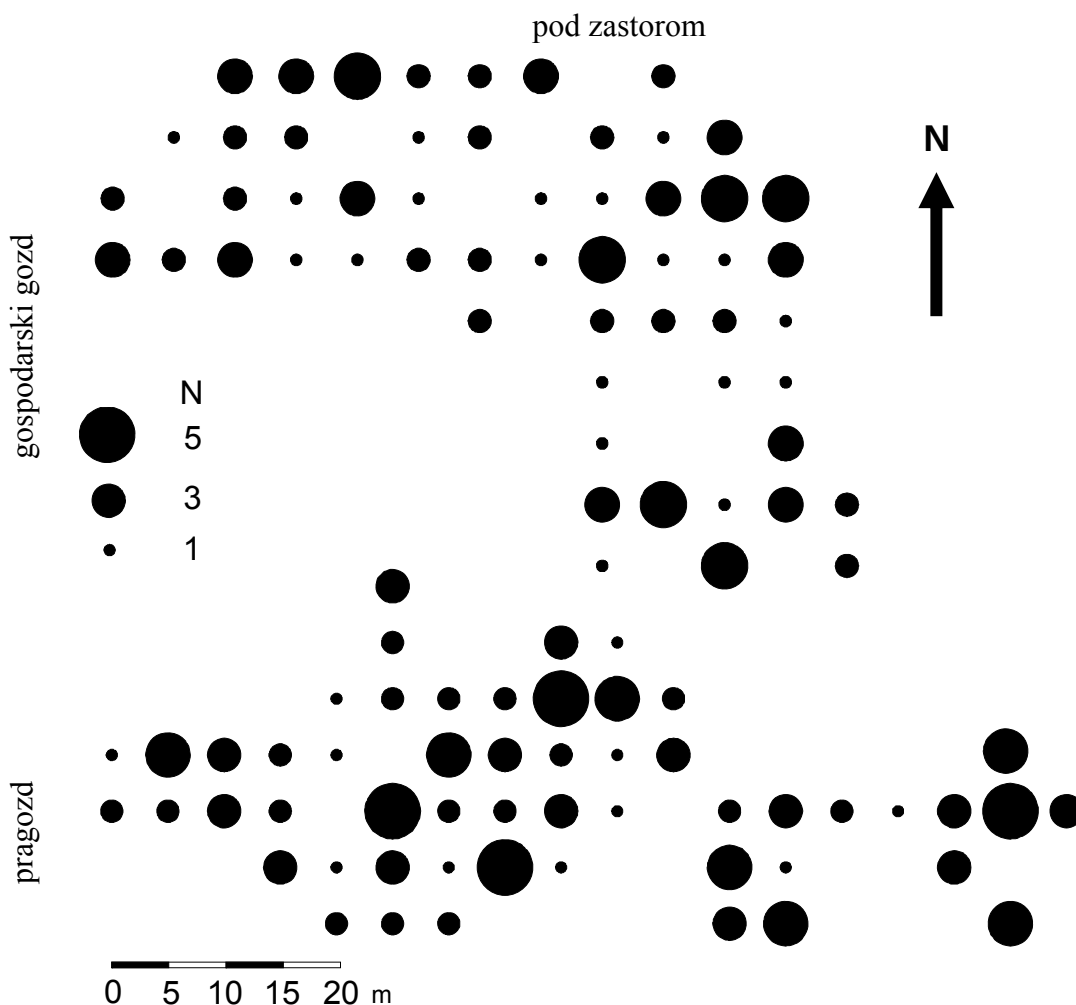
Nekatere bolj zanimive rezultate za različne tipe razrasti smo prikazali tudi prostorsko, in sicer plagiotropno razrast celotnih osebkov bukovega mladovja (Slika 19 in Slika 20) ter pojavljanje metlaste razrasti glavnega poganjka (Slika 21). Ta dva dejavnika smo tudi v tem primeru prikazali za največjo vrzel in njej najbolj rastiščno in sestojno podobno malo vrzel ter za lokacijo pod zastorom in sicer posebej za pragozd in gospodarski gozd. V vseh primerih je mreža meritev pokrivala celotno površino vrzeli in okolico vrzeli. Na slikah so prikazane samo lokacije, kjer je bilo število osebkov določenega tipa razrasti enako ali večje od 1.



Slika 19: Število (N) plagiotropnih osebkov bukovega mladovja na različnih lokacijah v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.

Figure 19: Number (N) of plagiotropic beech seedlings on different locations in largest research canopy gap and small gap with similar site and stand conditions in virgin and managed forest. Bold line represents the edge of the gap.

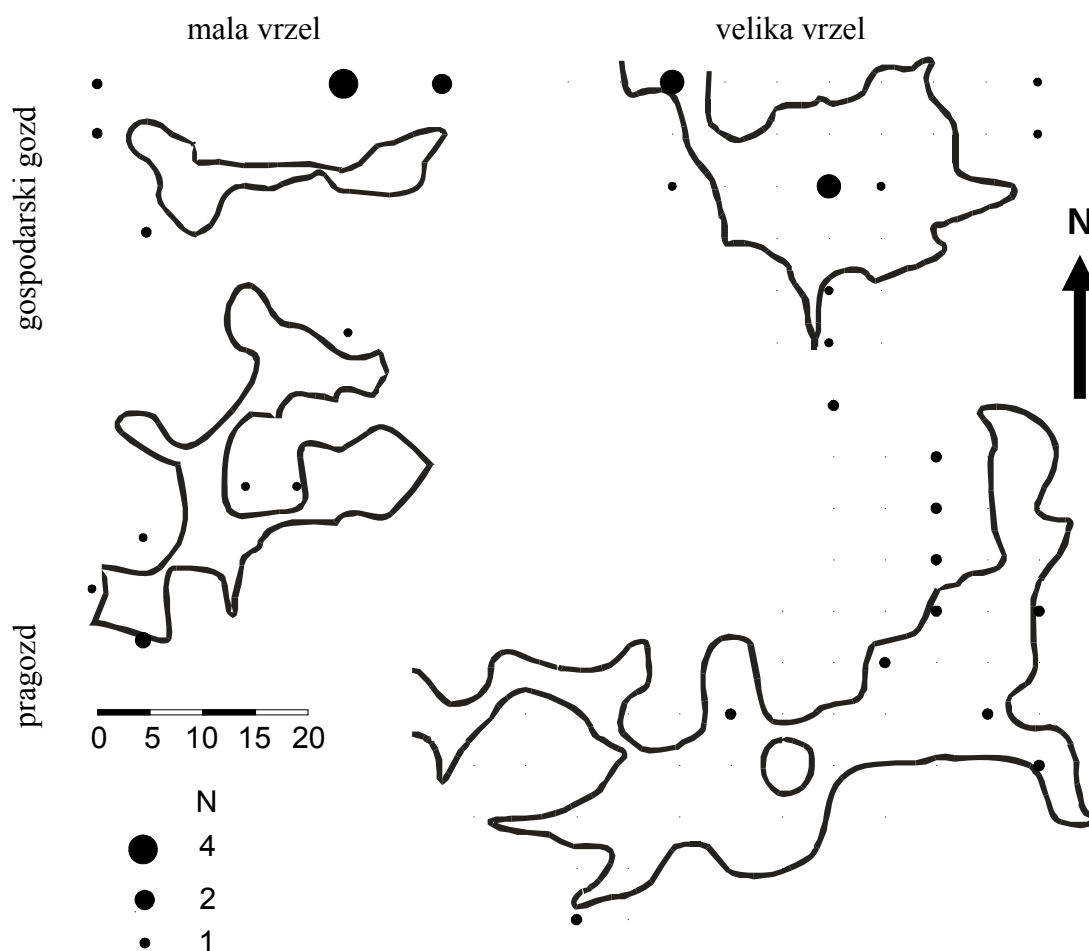
Večje število plagiotropnih osebkov se praviloma pojavlja pod zastorom v okolici vrzeli, vendar pa take osebke skoraj v vseh primerih v manjšem številu najdemo tudi v vrzeli (Slika 19). Nepravilne oblike vrzeli in njihova relativna majhnost sta vzroka za majhne vrednosti svetlobe na določenih točkah v vrzeli in blizu njenega roba. Največ plagiotropnih osebkov smo našli v mali pragozdni vrzeli.



Slika 20: Število (N) plagiotropnih osebkov bukovega mladovja pod sklenjenim zastorom v pragozdu in gospodarskem gozdu.

Figure 20: Number (N) of plagiotropic beech seedlings under closed canopy in virgin and managed forest.

Število plagiotropnih osebkov bukovega mladovja je pod zastorom večje kot v vrzelih. Tako kot v primeru svetlobe tudi v tem primeru ne moremo govoriti o o značilnih vzorcih pojavljanja, saj so plagiotropno razviti osebki bukve prisotni skoraj na vseh merjenih ploskvah (Slika 20).



Slika 21: Število (N) osebkov bukovega mladovja z metlasto razrastjo glavnega poganjka na različnih lokacijah v največji raziskovalni vrzeli in njej najbolj rastiščno in sestojno podobni mali vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu. Debelejša črta predstavlja rob vrzeli.

Figure 21: Number (N) of beech seedlings with broom shaped terminal shoot on different locations in largest research canopy gap and small gap with similar site and stand conditions in virgin and managed forest. Bold line represents the edge of the gap.

Metlasta razrast glavnega poganjka osebkov bukovega mladovja se pojavlja redko. Na podlagi zgornje slike (Slika 21) težko govorimo o značilnem vzorcu pojavljanja. Kljub temu lahko opazimo, da je večina osebkov metlaste razrasti v severnem delu vrzeli, kjer so vrednosti direktne svetlobe večje. Pod sklenjenim zastorom v gospodarskem gozdu ni bilo metlaste razrasti, medtem ko smo v pragozdu zabeležili le 4 osebkke brez značilne prostorske razporeditve.

5.2 RAZRAST OSEBKOV BUKOVEGA MLADOVJA V GOSPODARSKEM GOZDU IN PRAGOZDU

5.2.1 Kresni poganjki in dolžina terminalnega brsta glavnega poganjka

Da bi ugotovili morebiten vpliv obeh komponent svetlobe na pojavljanje kresnih poganjkov in dolžino terminalnih brstov glavnih poganjkov, smo v rastni sezoni analizirali 472 osebkov bukovega mladovja v vrzelih in pod zastorom, tako v pragozdu kakor tudi v gospodarskem gozdu.

Ugotovili smo, da se je kresni poganjek razvil le pri 5 analiziranih osebkih in da na podlagi teh podatkov podrobnejša analiza odnosa med svetlobo in pojavljanjem kresnih poganjkov ni mogoča. Direktna svetloba na ploskvah, kjer se je nahajalo teh 5 osebkov, je bila v intervalu od 2,2 do 25,6 %, razpršena svetloba pa v intervalu med 7,8 in 18,5 %. Na ploskvah, kjer je bila vrednost direktne svetlobe majhna, so bile vrednosti razpršene svetlobe velike in obratno, tako da so bile vse lokacije s pojavljanjem kresnega poganjka glede na razmere v naši raziskavi nadpovprečno dobro osvetljene.

Analizo odvisnosti med razpršeno in direktno svetlobo ter dolžino terminalnega brsta glavnega poganjka smo opravili s pomočjo linearne regresije in ugotovili, da značilna odvisnost obstaja (Preglednica 5).

Preglednica 5: Rezultati linearnih regresij posebej za direktno (FDIR) ter razpršeno (FDIF) svetlobo ter dolžino terminalnega brsta glavnega poganjka (N = 472).

Table 5: Results of linear regression analysis between direct (FDIR) and diffuse (FDIF) radiation and the length of the terminal shoot bud (N = 472).

	a	b	R ²	p
FDIR	1,80268256	0,0205	0,0889	0,0000
FDIF	1,60523042	0,0385	0,1381	0,0000

Potrdili smo rahlo pozitivno odvisnost med svetlobo in dolžino terminalnega brsta glavnega poganjka, ki je bila nekoliko močnejša za razpršeno svetlobo.

5.2.2 Osnovne lastnosti krošenj osebkov bukovega mladovja

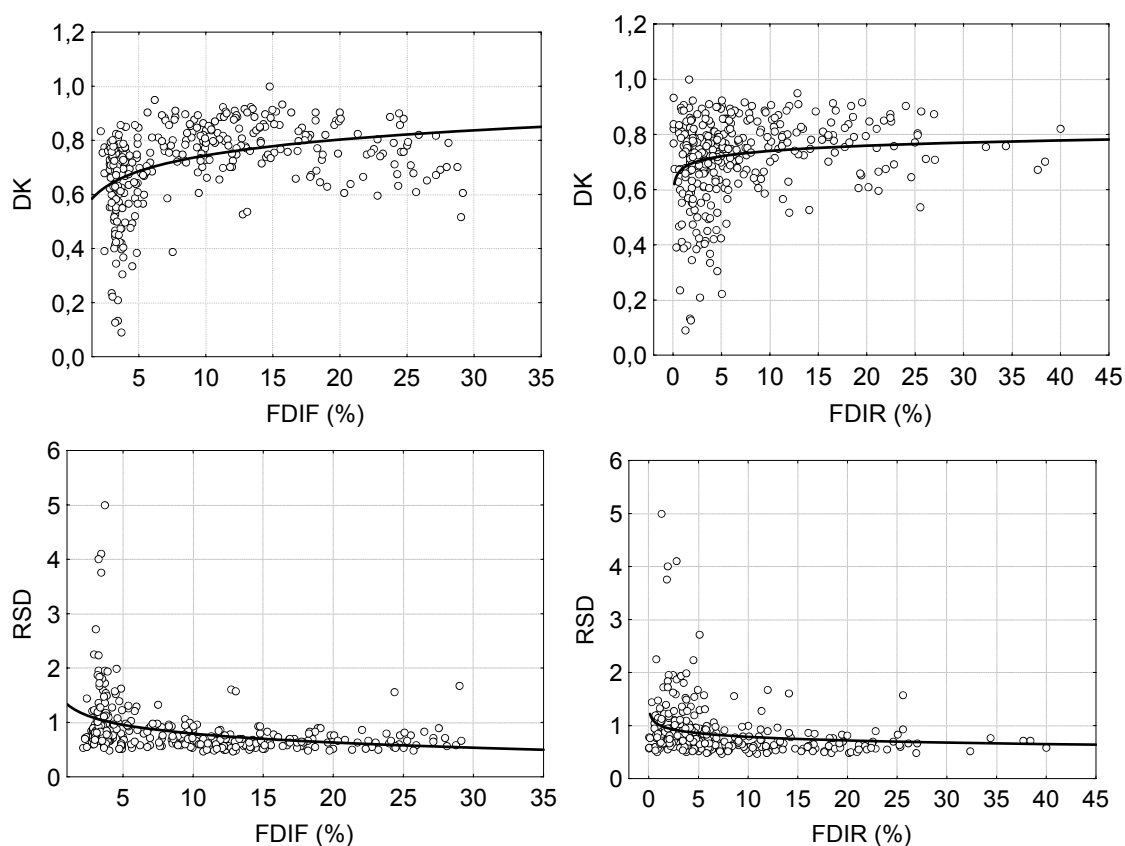
Zaradi omejenih sredstev in večje porabe časa smo opravili analizo odvisnosti osnovnih lastnosti krošenj od svetlobnih razmer na manjšem vzorcu ($N = 347$) osebkov bukovega mladovja. Vrednosti relativne razpršene svetlobe znotraj vzorca so bile znotraj intervala 2,2-29,2 %, medtem ko je bil interval za direktno svetlobo nekoliko večji, 0,1-40 %. Za analizo smo uporabili dve izpeljani spremenljivki: relativno dolžino krošnje, ki smo jo definirali kot razmerje med dolžino krošnje in dolžino osebka (DK), in sploščenost krošnje, definirano kot razmerje med povprečno širino in dolžino krošnje (RSD). Vrednosti DK so se gibale znotraj intervala 0,1-1, RSD pa je bil znotraj intervala 0,5-5. Večje vrednosti DK kažejo na večje krošnje, večje vrednosti RSD pa pomenijo večjo sploščenost krošnje.

Preglednica 6: Rezultati analize regresijske odvisnosti med deležem krošnje (DK) ter razmerjem med širino in dolžino krošnje (RSD) in obema tipoma svetlobe ($N = 347$).

Table 6: Results of regression analysis between crown ratio (DK) and crown width to length ratio (RSD) and direct (FDIR) and diffuse (FDIF) radiation ($N = 347$).

Reg. Enačba	a	SE	p	b	SE	p	R ²
DK=a+b*ln(FDIR)	0,6768	0,0132	0,0000	0,0275	0,0071	0,0001	0,0411
DK=a+b*ln(FDIF)	0,5497	0,0208	0,0000	0,0845	0,0098	0,0000	0,1774
RSD=a+b*ln(FDIR)	1,3361	0,0722	0,0000	-0,2355	0,0340	0,0000	0,1220
RSD=a+b*ln(FDIF)	1,0151	0,0443	0,0000	-0,0990	0,0240	0,0000	0,0472

Regresijska analiza je pokazala značilno odvisnost obeh parametrov od razpršene in direktne svetlobe, vendar so odvisnosti slabo izražene (Preglednica 6). S povečevanjem svetlobe se DK povečuje in sicer nekoliko bolj intenzivno za razpršeno svetlobo. RSD se z večanjem svetlobe zmanjšuje, kar je bolj očitno pri direktni svetlobi.



Slika 22: Delež krošnje (DK) in razmerje med širino in dolžino krošnje (RSD) v odvisnosti od razpršene (FDIF) in direktne (FDIR) svetlobe. Uporabili smo regresijsko enačbo $y = a + b \cdot \ln x$.

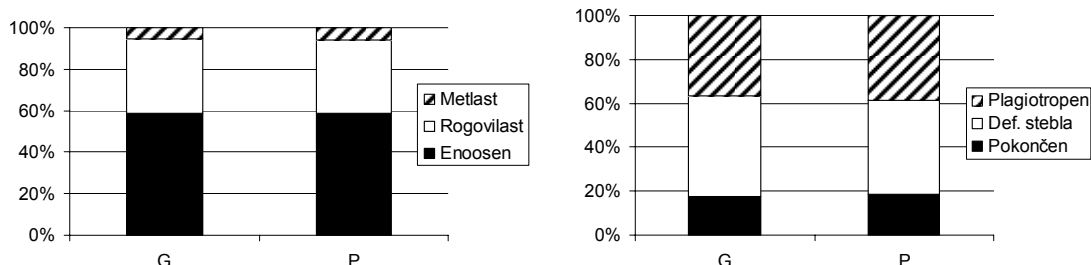
Figure 22: Crown ratio (DK) and crown width to length ratio (RSD) as a function of direct (FDIR) and diffuse (FDIF) radiation. The regression model $y = a + b \cdot \ln x$.

Slika 22 kaže, da se osebki s krošnjo manjšo kot 50 % dolžine drevesa ($DK < 0,5$) pojavljajo le do vrednosti obeh relativnih svetlob okrog 5 %. Od te vrednosti naprej DK ne glede na svetlobo močno niha med 0,5 in 0,9. Na isti sliki je prav tako viden padec RSD pod 1, kar pomeni ožje in daljše krošnje, nad vrednostjo obeh svetlob okrog 6 %. Ekstremno sploščene krošnje ($RSD > 3$) se pojavljajo le do vrednosti relativne svetlobe okrog 3 %.

5.2.3 Glavni tipi razrasti v različnih rastiščnih razmerah

Deleži posameznih tipov razrasti glavnih poganjkov v pragozdu in gospodarskem gozdu so si med seboj skoraj povsem identični, tako da značilnih razlik nismo odkrili (Mann-Whitney U test, vsi $p > 0,2$). V obeh primerih je delež osebkov z enoosnimi glavnimi

poganjki okoli 59 %, delež osebkov z rogovilo okoli 35 % in delež metlastih osebkov okoli 6 %.

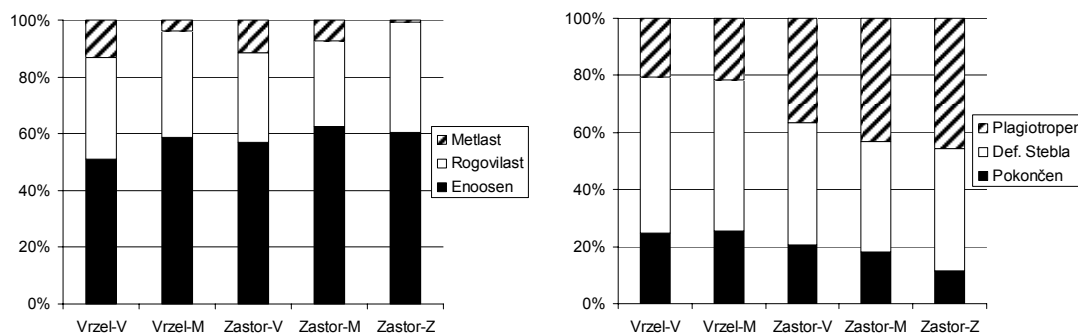


Slika 23: Deleži metlastih, rogovilastih in enoosnih glavnih poganjkov (levo), ter plagiotropnih, osebkov bukovega mladovja z deformacijo stebila in pokončnih osebkov bukovega mladovja (desno) v skupnem številu osebkov v gospodarskem gozdu (G; N = 621) in pragozdu (P; N = 1332).

Figure 23: Proportion of different branching types for the seedling top (left) and the whole seedling (right) according to total number of seedlings in managed (G; N = 621) and virgin (P; N = 1332) forest.

Zelo podobni so tudi deleži posameznih tipov razrasti celotnih osebkov mladovja bukve (Mann-Whitney U test, vsi $p > 0,1$). V gospodarskem gozdu je za 3 % več osebkov z deformacijo stebila in za isti odstotek manj plagiotropnih osebkov. V obeh primerih je pokončnih in enoosnih osebkov le okoli 18 % (Slika 23).

Slika 24 prikazuje deleže posameznih tipov razrasti glavnih poganjkov in celotnih osebkov mladovja v malih in velikih vrzelih, pod zastorom v okolici malih in velikih vrzeli in pod sklenjenim zastorom. Deleži enoosnih poganjkov se gibljejo okoli 60 %, pri čemer jih je najmanj v veliki vrzeli, predvsem na račun metlastih poganjkov. Delež metlastih poganjkov pod sklenjenim zastorom je manjši kot v vseh drugih primerih in znaša le 1 %. Primerjava razrasti celotnih osebkov (Slika 24 desno) kaže, da se s povečevanjem zastora zmanjšuje delež pokončnih enoosnih osebkov in hkrati tudi osebkov z deformacijo stebila na račun povečevanja plagiotropnih osebkov. Najmanjši delež plagiotropnih osebkov smo opazili v velikih vrzeli (21 %), medtem ko je bil delež plagiotropnih osebkov pod sklenjenim zastorom 46 %.



Slika 24: Deleži metlastih, rogovilastih in enoosnih glavnih poganjkov (levo), ter plagiotropnih, osebkov bukovega mladovja z deformacijo stebila in pokončnih osebkov bukovega mladovja (desno) v skupnem številu osebkov v veliki vrzeli (Vrzel-V; N = 225), mali vrzeli (Vrzel-M; N = 179), pod zastorom v okolici velike vrzeli (Zastor-V; N = 406), pod zastorom v okolici male vrzeli (Zastor-M; N = 427) in pod sklenjenim zastorom (Zastor-Z; N = 716).

Figure 24: Proportion of different branching types for the seedling top (left) and the whole seedling (right) according to total number of seedlings in large gaps (Vrzel-V; N = 225), small gaps (Vrzel-M; N = 179), under the canopy surrounding the large gaps (Zastor-V; N = 406), under the canopy surrounding the small gaps (Zastor-M; N = 427) and under closed canopy (Zastor-Z; N = 716).

5.2.4 Svetlobne razmere, relativni dolžinski prirastek in razmerje med višino in premerom za posamezne tipe razrasti glavnih poganjkov

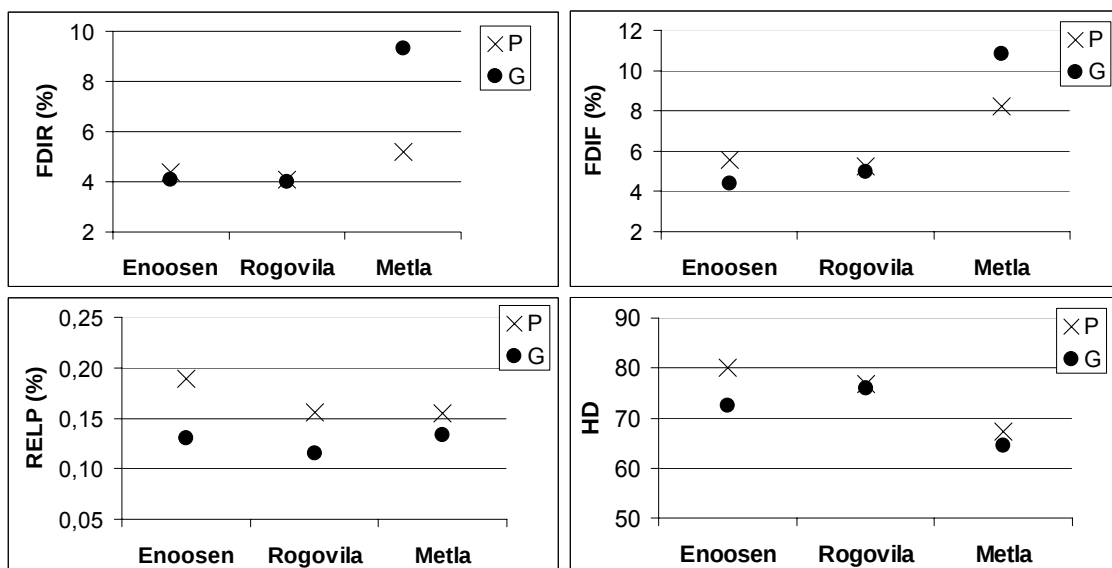
Da bi ugotovili, ali je mogoče govoriti o značilnih svetlobnih razmerah in nekaterih drugih merjenih znakih za posamezen tip razrasti, smo posebej za pragozd (N = 1332) in gospodarski gozd (N=621) izvedli Kruskal–Wallis test razlik med skupinami ploskev z različnimi tipi glavnih poganjkov za relativno direktno in razpršeno svetlobo, relativni dolžinski prirastek zadnjega leta in razmerje med višino in premerom osebkov (Preglednica 7).

Preglednica 7: Število osebkov (N), srednji rangi, mediane in poprečja za relativno direktno (FDIR) in razpršeno (FDIF) svetlobo, relativni dolžinski prirastek (RELP) in dimenzijsko razmerje osebkov (HD) za skupine ploskev z osebki bukovega mladovja z enoosnimi, rogovilastimi in metlastimi glavnimi poganjki, v pragozdu in gospodarskem gozdu kot rezultat Kruskal-Wallis testa.

Table 7: Number of sample units (N), mean ranks (Sr. rang), median (Mediana) and mean (Poprečje) values for relative direct (FDIR) and relative diffuse (FDIF) light, relative height increment (RELP) and height-diameter ratio (HD) in managed (Gospodarski gozd) and old-growth (Pragozd) forest using Kruskal-Wallis ANOVA. The classes were orthotropic (Enoosen), forked (Rogovilast) and broom shaped seedling tops (Metlast).

		Pragozd				Gospodarski gozd			
		Enoosen	Rogovilast	Metlast	p	Enoosen	Rogovilast	Metlast	p
N		785	464	83		366	220	35	
FDIR	Sr.rang	659	658	787	0,0172	307	296	444	0,0000
	Mediana	4,4	4,1	5,2		4,1	4,0	9,3	
	Poprečje	5,9	5,8	8,2		6,1	6,1	11,7	
FDIF	Sr.rang	658	648	849	0,0000	297	315	434	0,0001
	Mediana	5,6	5,3	8,2		4,4	5,0	10,8	
	Poprečje	6,8	6,8	9,0		7,3	8,3	13,1	
RELP	Sr.rang	728	576	595	0,0000	320	293	331	0,1648
	Mediana	0,19	0,16	0,15		0,13	0,12	0,13	
	Poprečje	0,19	0,16	0,16		0,14	0,13	0,14	
HD	Sr.rang	706	643	419	0,0000	308	325	237	0,0232
	Mediana	80,0	76,8	67,2		72,5	75,9	64,5	
	Poprečje	82,6	79,1	67,4		74,9	76,2	66,6	

V pragozdu smo ugotovili značilne razlike za vse štiri proučevane dejavnike, medtem ko v gospodarskem gozdu ni bilo razlik med skupinami ploskev za relativni dolžinski prirastek zadnjega leta (Preglednica 7).



Slika 25: Mediane direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe, relativnega dožinskega prirastka zadnjega leta (RELP) in dimenzijskega razmerja (HD) glede na tip razrasti glavnega poganjka posebej za pragozd (P) in gospodarski gozd (G).

Figure 25: Median values for relative diffuse (FDIF) and direct (FDIR) radiation, relative height increment (RELP) and height-diameter ratio (HD) analysed separately for old-growth (P) and managed (G) forest using Kruskal-Wallis ANOVA. The classes were orthotropic (Enoosen), forked (Rogovila) and broom shaped seedling tops (Metla).

Največje vrednosti relativne svetlobe smo opazili v skupini ploskev z metlastimi poganjki. To velja za razpršeno (FDIF) in direktno (FDIR) svetlobo in tudi za oba tipa gozdov. Osebkje z metlastimi glavnimi poganjki so prejeli precej več svetlobe v gospodarskem gozdu. Mediane za obe vrsti svetlobe so bile v pragozdu in gospodarskem gozdu za skupini ploskev z enoosnimi in rogovilastimi poganjki relativno blizu ($FDIR = 4,0 - 4,4 \%$; $FDIF = 4,4 - 5,6 \%$). V vseh primerih, razen v primeru razpršene svetlobe v gospodarskem gozdu, so bile vrednosti median za osebkje z rogovilastimi glavnimi poganjki nekoliko manjše v primerjavi s tistimi za osebkje z enoosnimi glavnimi poganjki (Slika 25).

Relativni dolžinski prirastki (RELP) v nobenem primeru niso presegali 20 % višine osebkov. V pragozdu so bili značilni nekoliko večji relativni dolžinski prirastki v skupini ploskev z enoosnimi poganjki, medtem ko v gospodarskem gozdu za relativni dolžinski prirastek ni bilo razlik. Tako v pragozdu kot v gospodarskem gozdu je bilo dimenzijsko razmerje (HD) značilno najmanjše v skupini z metlastimi poganjki (Slika 25).

Hoteli smo ugotoviti, ali za posamezne tipe razrasti poganjka obstajajo bistvene razlike v nekaterih osnovnih parametrih, ki smo jih merili na vsaki ploskvi, da bi na tak način lahko bolje ocenili razmere, v katerih uspevajo posamezni tipi razrasti.

Preglednica 8: Število osebkov (N), mediane, spodnji in zgornji kvartil za pokrovnost različnih parametrov (vsi parametri v %) in gostoto (N/ha) treh najpogostejših drevesnih vrst za skupine ploskev z osebki bukovega mladovja z enoosnimi, rogovilastimi in metlastimi glavnimi poganjki skupaj za pragozd in gospodarski gozd, kot rezultat Kruskall-Wallis testa.

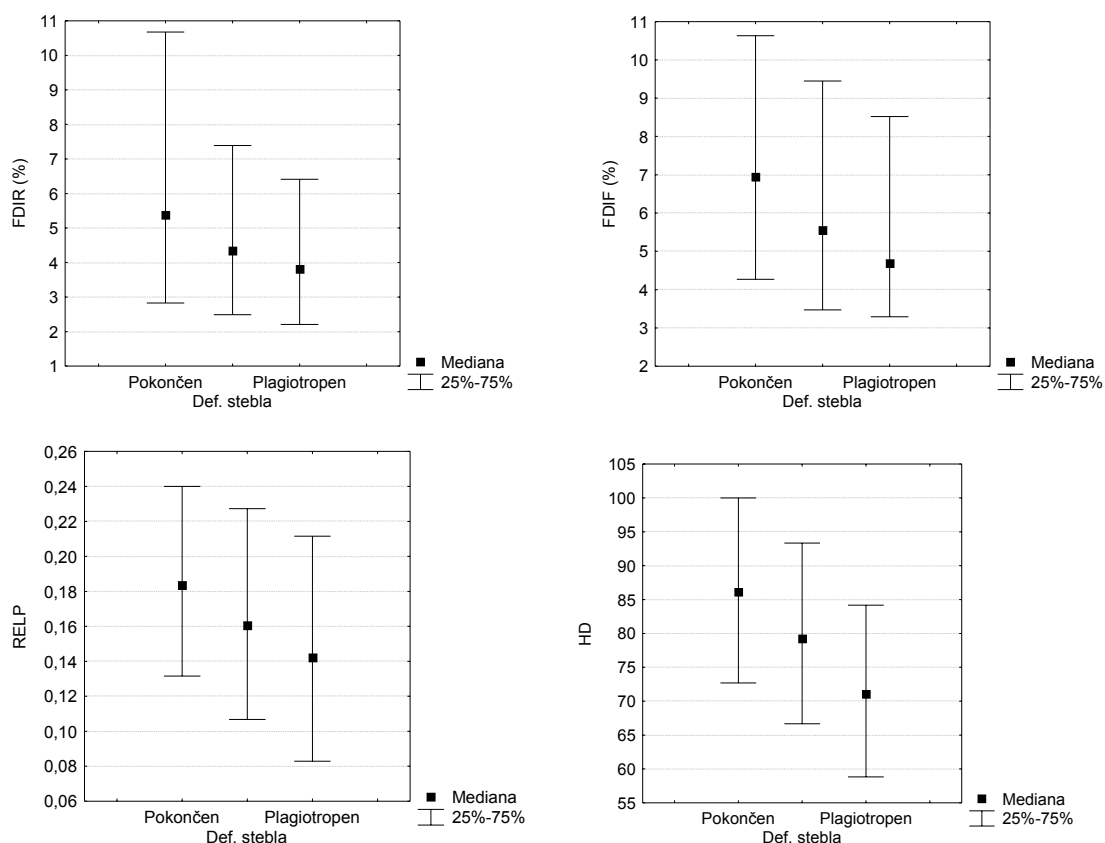
Table 8: Number of sample units (N), median (Mediana), lower (Sp. Kvartil) and upper (Zg. Kvartil) quartil for the coverage of different parameters (all parameters with %) and the density (N/ha) of the three major tree species together for managed and old-growth forest using Kruskall-Wallis ANOVA. The classes were orthotropic (Enoosen), forked (Rogovilast) and broom shaped seedling tops (Metlast).

		Enoosen	Rogovilast	Metlast	p
	N	1151	684	118	
Mladovje / Woody regeneration (%)	Mediana	39,0	50,0	42,0	0,0011
	Sp. Kvartil	12,0	20,0	14,0	
	Zg. Kvartil	75,0	82,0	72,0	
Zelišča / Ground vegetation (%)	Mediana	10,0	8,0	9,0	0,0018
	Sp. Kvartil	4,0	3,0	5,0	
	Zg. Kvartil	21,0	15,0	18,0	
Mrtev les / Coarse woody debris (%)	Mediana	1,0	0,0	2,0	0,0000
	Sp. Kvartil	0,0	0,0	1,0	
	Zg. Kvartil	4,0	5,0	7,0	
Skale / Rocks (%)	Mediana	1,0	0,0	0,0	0,0024
	Sp. Kvartil	0,0	0,0	0,0	
	Zg. Kvartil	2,0	1,0	1,0	
Bukev / Beech (%)	Mediana	37,0	42,0	33,5	0,2221
	Sp. Kvartil	12,5	14,1	13,0	
	Zg. Kvartil	72,0	76,0	67,0	
Jelka / Silver fir (%)	Mediana	0,2	0,2	0,2	0,0254
	Sp. Kvartil	0,1	0,1	0,0	
	Zg. Kvartil	0,6	0,4	0,3	
G. javor / Sycamore maple (%)	Mediana	0,1	0,1	0,0	0,0417
	Sp. Kvartil	0,0	0,0	0,0	
	Zg. Kvartil	1,0	1,0	0,5	
Bukev / Beech (N/ha)	Mediana	53333	57778	35556	0,0000
	Sp. Kvartil	31111	31111	17778	
	Zg. Kvartil	84444	88889	53333	
Jelka / Silver fir (N/ha)	Mediana	4444	0	4444	0,0056
	Sp. Kvartil	0	0	0	
	Zg. Kvartil	8889	8889	8889	
G. javor / Sycamore maple (N/ha)	Mediana	4444	4444	0	0,0000
	Sp. Kvartil	0	0	0	
	Zg. Kvartil	26667	31111	8889	

Za vse parametre, razen za pokrovnost bukve, so bile razlike med tipi razrasti glavnega poganjka značilne. Razen za gostoto bukve, ki je nekoliko manjša za skupino metlastih poganjkov, so razlike povsod majhne (Preglednica 8).

5.2.5 Svetlobne razmere, relativni dolžinski prirastek in razmerje med višino in premerom za posamezne tipe razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja

Podobno analizo kot za tipe razrasti glavnega poganjka smo opravili tudi za tri tipe razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja. Tudi v tem primeru smo oblikovali 3 skupine ploskev in med njimi preverili razlike s Kruskal-Wallis testom za razpršeno in direktno svetlobo, relativni dolžinski prirastek in razmerje med višino in premerom osebka. Analizo smo opravili za vse ploskve skupaj ($N = 1953$) (Slika 26) in še posebej za pragozd ($N = 1332$) in gospodarski gozd ($N = 621$).



Slika 26: Mediane in kvartilni razmaki relativne direktne (FDIR) in razpršene (FDIF) svetlobe, relativnega dolžinskega prirastka zadnjega leta (RELP) in dimenzijskega razmerja (HD) kot rezultat Kruskal-Wallis testa (vsi $p < 0,0001$) glede na tip razrasti osebkov bukovega mladovja (Pokončen, $N = 356$; Deformacija stebla, $N = 858$; Plagiotropen, $N = 739$) skupaj za pragozd in gospodarski gozd.

Figure 26: Median values and quartile range as a result of Kruskal-Wallis ANOVA for relative direct (FDIR) and diffuse (FDIF) radiation, relative height increment (RELP) and height-diameter ratio (HD) (all $p < 0,0001$) together for old-growth and managed forest. The classes were: Pokončen = orthotropic ($N = 356$), Def. stebla = non-orthotropic ($N = 858$) and Plagiotropen = plagiotropic ($N = 739$) whole seedling branching.

Za vse štiri opazovane dejavnike so bile razlike med skupinami ploskev značilne ($p < 0,0001$). Osebkki pokončne razrasti so prejeli značilno večje vrednosti razpršene ($Me_1 = 6,9$) in direktne ($Me_1 = 5,4$) svetlobe, še posebej v primerjavi z osebki plagiotropne rasti, ki so uspevali v slabših svetlobnih razmerah. Razlika v medianah za razpršeno svetlobo je znašala 2,3 % in za direktno 1,6 %. HD razmerje je največje pri pokončnih osebkih ($Me_1 = 86$), manjše pri osebkih z deformacijo debla ($Me_2 = 79$) in najmanjše pri plagiotropnih osebkih ($Me_3 = 71$). Podoben trend upadanja vrednosti smo opazili tudi za relativni dolžinski prirastek zadnjega leta ($Me_1 = 0,18$; $Me_2 = 0,16$; $Me_3 = 0,14$) (Slika 26).

Preglednica 9: Število osebkov (N), srednji rangi, mediane in poprečja za relativno direktno (FDIR) in razpršeno (FDIF) svetlobo, relativni dolžinski prirastek (RELP) in dimenzijsko razmerje osebkov (HD) za skupine ploskev s pokončnimi, osebki z deformiranim stebлом in plagiotrofnimi osebki bukovega mladovja, v pragozdu in gospodarskem gozdu, kot rezultat Kruskall-Wallis testa.

Table 9: Number of sample units (N), mean ranks (Sr. rang), median (Mediana) and mean (Poprečje) values for relative direct (FDIR) and relative diffuse (FDIF) light, relative height increment (RELP) and height-diameter ratio (HD) in managed (Gospodarski gozd) and old-growth (Pragozd) forest using Kruskall-Wallis ANOVA. The classes were orthotropic (Pokončen), non-ortotropic (Def. stebila) and plagiotropic (Plagiotropen) seedling.

		Pragozd				Gospodarski gozd			
		Def.				Def.			
		Pokončen	stebila	Plagiotropen	p	Pokončen	stebila	Plagiotropen	p
N		246	573	513		110	285	226	
FDIR	Sr.rang	728	690	611	0,0001	380	296	296	0,0001
	Mediana	5,1	4,5	3,7		6,5	3,8	4,1	
	Poprečje	7,0	6,2	5,3		8,3	5,9	6,2	
FDIF	Sr.rang	735	706	589	0,0000	384	289	304	0,0000
	Mediana	6,0	6,5	4,7		8,0	4,0	4,8	
	Poprečje	7,6	7,4	6,1		9,5	7,3	8,1	
RELP	Sr.rang	736	701	594	0,0000	381	299	291	0,0000
	Mediana	0,19	0,19	0,16		0,17	0,12	0,12	
	Poprečje	0,20	0,19	0,16		0,17	0,13	0,13	
HD	Sr.rang	844	704	538	0,0000	326	332	275	0,0011
	Mediana	88,6	80,0	71,8		75,5	75,2	70,0	
	Poprečje	90,0	82,5	73,5		77,3	77,4	70,6	

Dodatne informacije o nekaterih parametrih v posameznem tipu razrasti osebkov bukve smo dobili s pomočjo analize razlik, skupaj za pragozd in gospodarski gozd. Obravnavali smo parametre pokrovnost mladovja, zelišč, mrtvega lesa in skal, pokrovnost bukve, jelke in gorskega javorja ter gostote za iste tri vrste.

Preglednica 10: Število osebkov (N), mediane, spodnji in zgornji kvartil za pokrovnost različnih parametrov (vsi parametri v %) in gostoto (N/ha) treh najpogostejših drevesnih vrst za skupine ploskev s pokončnimi, osebki z deformiranim stebлом in plagiotropnimi osebki bukovega mladovja skupaj za pragozd in gospodarski gozd kot rezultat Kruskall-Wallis testa.

Table 10: Number of sample units (N), median (Mediana), lower (Sp. Kvartil) and upper (Zg. Kvartil) quartil for the coverage of different parameters (all parameters with %) and the density (N/ha) of the three major tree species together for managed and old-growth forest using Kruskall-Wallis ANOVA. The classes were orthotropic (Pokončen), non-ortotrophic (Def. stebila) and plagiotropic (Plagiotropen) seedling.

		Pokončen	Def. stebila	Plagiotropen	p
	N	356	858	739	
Mladovje / Woody regeneration (%)	Mediana	60,0	44,5	35,0	0,0000
	Sp. Kvartil	25,0	15,0	13,0	
	Zg. Kvartil	90,0	77,0	70,0	
Zelišča / Ground vegetation (%)	Mediana	7,0	9,0	10,0	0,0001
	Sp. Kvartil	3,0	4,0	5,0	
	Zg. Kvartil	17,0	20,0	20,0	
Mrtev les / Coarse woody debris (%)	Mediana	1,0	1,0	1,0	0,9372
	Sp. Kvartil	0,0	0,0	0,0	
	Zg. Kvartil	4,5	5,0	4,0	
Skale / Rocks (%)	Mediana	0,0	0,0	1,0	0,2372
	Sp. Kvartil	0,0	0,0	0,0	
	Zg. Kvartil	2,0	2,0	2,0	
Bukev / Beech (%)	Mediana	50,0	48,0	24,0	0,0000
	Sp. Kvartil	13,5	17,0	10,0	
	Zg. Kvartil	83,0	82,0	48,0	
Jelka / Silver fir (%)	Mediana	0,1	0,2	0,2	0,0012
	Sp. Kvartil	0,1	0,1	0,1	
	Zg. Kvartil	0,5	0,4	0,6	
G. javor / Sycamore maple (%)	Mediana	0,1	0,1	0,0	0,0112
	Sp. Kvartil	0,0	0,0	0,0	
	Zg. Kvartil	1,0	1,0	0,8	
Bukev / Beech (N/ha)	Mediana	62222	57778	44444	0,0000
	Sp. Kvartil	31111	31111	22222	
	Zg. Kvartil	97778	88889	75556	
Jelka / Silver fir (N/ha)	Mediana	4444	4444	4444	0,2653
	Sp. Kvartil	0	0	0	
	Zg. Kvartil	8889	8889	8889	
G. javor / Sycamore maple (N/ha)	Mediana	4444	4444	4444	0,0244
	Sp. Kvartil	0	0	0	
	Zg. Kvartil	13333	31111	31111	

Razen za pokrovnost mrtvega lesa, skal in gostoto jelke so razlike za vse druge parametre značilne. Iz preglednice lahko večje razlike opazimo za pokrovnost mladovja (Preglednica 10), ki je v primeru pokončnih osebkov znatno večja kot pri drugih dveh tipih razrasti. Opazno manjša sta za plagiotropne osebke tudi pokrovnost in gostota bukve. V vseh drugih primerih so razlike majhne.

5.2.6 Vpliv svetlobe na pojavljanje metlaste razrasti glavnih poganjkov

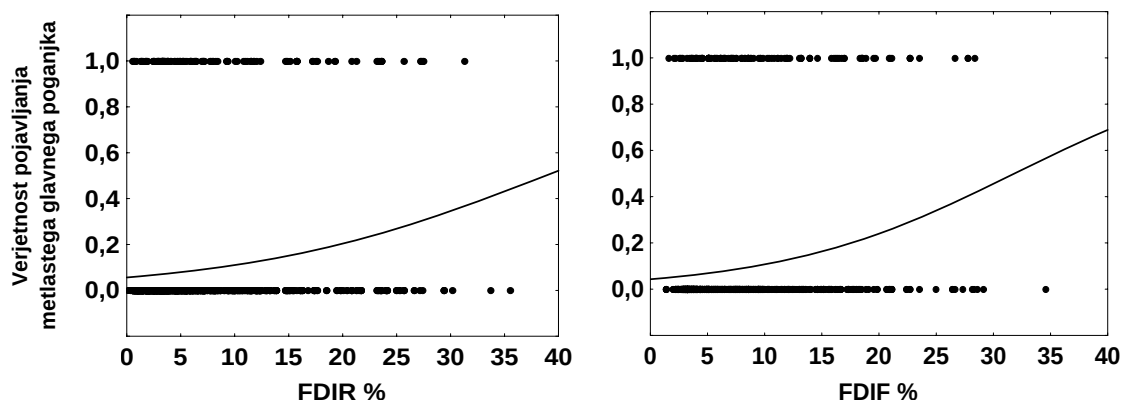
Zaradi nemetrične narave podatkov v zvezi s tipi razrasti glavnega poganjka smo za analizo vpliva direktne in razpršene svetlobe na pojavljanje posameznega tipa razrasti uporabili logistično regresijo. Analizo smo opravili posebej za pojavljanje rogovilastega in metlastega tipa razrasti glavnega poganjka. Analiza ni pokazala statistično značilnega vpliva razpršene ali direktne svetlobe na pojavljanje rogovile, medtem ko je bil vpliv na pojavljanje metlastih glavnih poganjkov značilen (Preglednica 11).

Preglednica 11: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva FDIR in FDIF na pojavljanje metlastih glavnih poganjkov (N = 1269). Za izračun modela smo uporabili enačbo: $y = \exp(a + bx) / (1 + \exp(a + bx))$.

Table 11: Results of logistic regression models used to analyze the change in branching patterns according to FDIF and FDIR (N = 1269). Seedling top branching patterns include orthotropic or broom shaped growth. Logistic regression equation: $y = \exp(a + bx) / (1 + \exp(a + bx))$.

	a	St. napaka St. error	b	St. napaka St. error	Razmerje obetov Odds ratio	95 % int. zaupanja 95 % conf. interval	p
FDIR	-2,814	0,150	0,073	0,013	1,075	1,048 – 1,103	0,0000
FDIF	-3,093	0,178	0,097	0,015	1,102	1,069 – 1,136	0,0000

Razmerje obetov za pojavljanje metlastega glavnega poganjka je v obeh primerih večje od ena, kar pomeni, da se verjetnost pojavljanja tega tipa razrasti glavnega poganjka povečuje s povečevanjem vrednosti svetlobe. Glede na b koeficiente regresijske enačbe in sliko lahko opazimo, da je ta vpliv nekoliko močnejši za razpršeno sevanje, kjer verjetnost za pojavljanje metlastega glavnega poganjka naraste na 0,69 pri vrednosti relativne razpršene svetlobe okoli 40 %. Za isto vrednost relativne direktne svetlobe je verjetnost za pojavljanje metlastega glavnega poganjka le 0,53 (Preglednica 11, Slika 27).



Slika 27: Verjetnost pojavljanja metlastega glavnega poganjka (enoosen glavni poganjek – 0; metlast glavni poganjek – 1) glede na relativno direktno (FDIR %) in razpršeno svetlobo (FDIF %) kot rezultat logistične regresije.

Figure 27: The probability of broom shaped top (orthotropic top – 0, broom shaped top – 1) branching according to FDIR (%) and FDIF (%) as a result of logistic regression.

Na sliki lahko vidimo, da krivulji verjetnosti ne kažeta izrazitega prevoja (Slika 27), ki običajno kaže mejno vrednost, pri kateri se verjetnost pojavljanja znaka bistveno spremeni. Kljub temu lahko opazimo, da se verjetnost pojavljanja metlastega glavnega poganjka bolj intenzivno dviguje nad vrednostjo 20 % za obe relativni svetlobi.

Zgornja analiza je bila opravljena posebej za oba tipa svetlobe. Ker smo hoteli ugotoviti, ali tudi različne kombinacije obeh tipov svetlobe značilno vplivajo na razrast glavnih poganjkov, smo oblikovali neodvisno opisno spremenljivko (SVETL1), ki zavzema štiri vrednosti v odvisnosti od relativne razpršene in direktne svetlobe

(Slika 10). Odvisna spremenljivka je ostala ista kot v zgornjem primeru in je, če je šlo za enoosen glavni poganjek, imela vrednost 0, v primeru metlastega pa vrednost 1. V procesu analize pri postopku logistične regresije izberemo tudi referenčni razred neodvisne spremenljivke, s pomočjo katerega ugotavljamo značilne razlike med razmerji obetov za ostale razrede. V tem primeru smo kot referenčni razred izbrali razred C, ki ima majhne vrednosti FDIR in FDIF.

Preglednica 12: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva opisne spremenljivke SVETL1 na pojavljanje metlastih glavnih poganjkov (N = 1269).

Table 12: Results of logistic regression model used to analyze the change in branching pattern of seedling top according to SVETL1 (N = 1269).

	b	St. napaka St. error	Wald	SP DF	Razmerje obeto Odds ratio	95 % int. zaupanja 95 % conf. interval	p
SVETL1			27,662	3			0,0000
A	0,592	0,325	3,317	1	1,808239	0,956 – 3,421	0,0686
B	1,194	0,257	21,555	1	3,299242	1,993 – 5,461	0,0000
D	0,107	0,369	0,084	1	1,11306	0,540 – 2,300	0,7718
Konstanta Constant	-2,905	0,219	176,075	1	0,054726		0,0000

Rezultati analize kažejo, da v splošnem različne kombinacije obeh tipov svetlobe značilno vplivajo na verjetnost pojavljanja metlastega glavnega poganjka. Obeti za pojavljanje metlastega glavnega poganjka so v vseh razredih večji od tistih v referenčnem razredu. Statistično značilna je razlika samo v razredu B, kjer so obeti 3,3 krat večji kot v razredu C. Relativno blizu značilnosti je tudi razred A, kjer so obeti večji 1,8 krat (Preglednica 12).

5.2.7 Vpliv svetlobe na pojavljanje posameznih tipov razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja

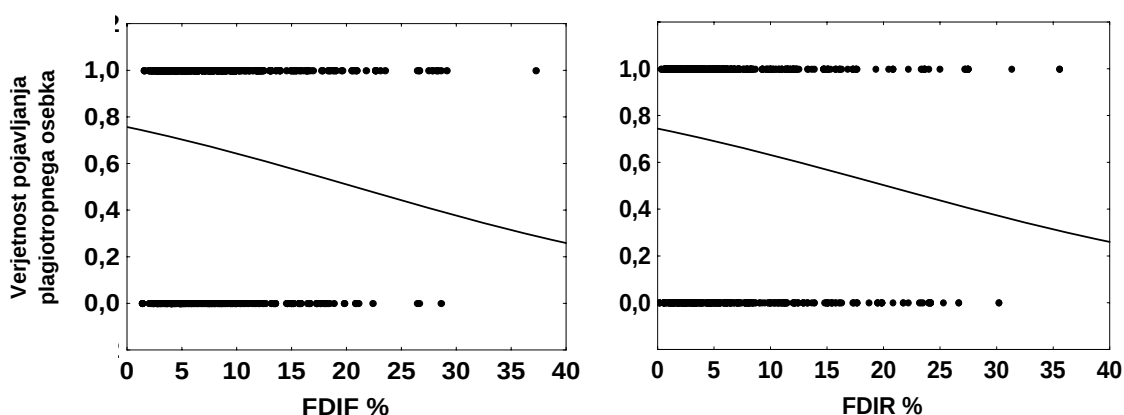
Pri analizi vplivov svetlobe na tipe razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja nas je zanimala predvsem zveza med svetlobnimi razmerami in plagiotropno razrastjo kot najbolj neugodno z vidika kvalitete. V modelu logistične regresije je odvisna spremenljivka lahko zavzela dve vrednosti in sicer 0, kar je pomenilo pokončen osebek in 1, kar je pomenilo plagiotropen osebek. Tudi v tem primeru je bila odvisnost med odvisno spremenljivko in obema komponentama svetlobe kot neodvisnima spremenljivkama statistično značilna (Preglednica 13).

Preglednica 13: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva FDIR in FDIF na pojavljanje plagiotropnih osebkov bukovega mladovja (N = 1095). Za izračun modela smo uporabili enačbo: $y = \exp(a + bx) / (1 + \exp(a + bx))$.

Table 13: Results of logistic regression models used to analyze the change in branching patterns according to FDIF and FDIR (N = 1095). Whole seedling branching pattern includes orthotropic or plagiotropic growth. Logistic regression equation: $y = \exp(a + bx) / (1 + \exp(a + bx))$.

	a	St. napaka St. error	b	St. napaka St. error	Razmerje obeto Odds ratio	95 % int. zaupanja 95 % conf. interval	p
FDIR	1.069	0.097	-0.053	0.011	0.948	0.928 – 0.969	0.0000
FDIF	1.135	0.113	-0.055	0.012	0.947	0.924 – 0.970	0.0000

Za obe vrsti svetlobe je koeficient b negativen, razmerje obeto pa manjše kot ena, kar pomeni, da se verjetnost pojavljanja plagiotropnega osebkov zmanjšuje s povečevanjem relativne svetlobe (Preglednica 13). Koeficienti regresijske enačbe in razmerji obeto so zelo podobni za obe vrsti svetlobe, iz česar lahko sklepamo, da ni večjih razlik pri vplivu teh dveh komponent svetlobe na plagiotropno razrast osebkov bukve (Slika 28).



Slika 28: Verjetnost pojavljanja plagiotropnega tipa razrasti celotnih bukovih osebkov (pokončen osebek – 0; plagiotropen osebek – 1) glede na relativno direktno (FDIR %) in razpršeno svetlobo (FDIF %) kot rezultat logistične regresije.

Figure 28: The probability of plagiotropic whole seedlings branching (orthotropic seedling – 0; plagiotropic seedling – 1) according to FDIR (%) and FDIF (%) as a result of logistic regression.

Verjetnost pojavljanja plagiotropnega osebkov v razmerah majhnih vrednosti relativne svetlobe je razmeroma velika. V obeh primerih presega vrednost 0,7 pri vrednosti relativne svetlobe pod 5 %. Verjetnosti z naraščanjem svetlobe konstantno padajo in se

pri vrednosti 40 % ustavijo pri 0,26. Relativno položna krivulja brez izrazitega prevoja kaže na to, da odvisnost pojavljanja plagiotropne rasti od svetlobe ni močno izrazita.

Tudi v tem primeru smo opravili analizo odvisnosti pojavljanja plagiotropnih osebkov od kombinacij obeh tipov svetlob. Za namene analize smo oblikovali neodvisno opisno spremenljivko SVETL2 in ponovili analizo uporabljeno v prejšnjem poglavju. Tokrat smo kot referenčni razred določili razred B z velikimi vrednostmi FDIR in FDIF. Odvisna spremenljivka je tako kot prej zavzela vrednost 0, če je bil osebek pokončen, in vrednost 1, če je bil plagiotropen.

Preglednica 14: Rezultati logistične regresije za analizo vpliva opisne spremenljivke SVETL2 na pojavljanje plagiotropnih osebkov bukovega mladovja (N = 1059).

Table 14: Results of logistic regression model used to analyze the change in whole seedling branching patterns according to SVETL2 (N = 1059).

	b	St. napaka St. error	Wald	SP DF	Razmerje obeto Odds ratio	95 % int. zaupanja 95 % conf. interval	p
SVETL2			48,874	3			0,0000
A	0,077	0,183	0,178	1	1,080	0,754 – 1,547	0,6729
C	1,156	0,175	43,514	1	3,176	2,253 – 4,478	0,0000
D	0,191	0,184	1,075	1	1,210	0,844 – 1,736	0,2998
Konstanta Constant	0,359	0,108	11,061	1	1,432		0,0009

Rezultati logistične regresije potrjujejo domnevo, da kombinacije obeh tipov svetlob značilno vplivajo na pojavljanje plagiotropnih osebkov (Preglednica 14). V razredih A, C in D so obeti za pojavljanje plagiotropnega osebkov večji kot v referenčnem razredu, vendar je povečanje statistično značilno le v razredu C. V razredu C so vrednosti relativne svetlobe bistveno manjše v primerjavi z referenčnim B razredom, obeti za pojavljanje pa so za skoraj 3,2 krat večji.

6 RAZPRAVA IN SKLEPI

6.1 MOTNJE IN SVETLOBNE RAZMERE V DINARSKIH JELOVO-BUKOVIH GOZDOVIH

6.1.1 Motnje in njihov pomen v razvoju gozda

Motnja je prekinitev v razvoju sestoja, ki nastopi zaradi različnih razlogov (Chadwick in Bruce, 1990; Barnes in sod., 1998). Posledica motnje v gozdu je ponavadi večja ali manjša vrzel v sklepu (Denslow in Spies, 1990). Vrzeli so glavni vzrok za strukturno in vrstno pestrost gozdnih ekosistemov (Watt, 1947; Lertzman in Krebs, 1991; Attwill, 1994), obenem pa pomenijo začetek novega razvojnega cikla v gozdu (Whitmore, 1989). Vrzeli kot motnja niso enako pomembne v vseh gozdnih ekosistemih, kar je odvisno od tipa sestoja in z njim povezanih dejavnikov, med katerimi so najpomembnejši višina okoliškega sestoja, geografski položaj vrzeli, naklon in ekspozicija ter orientacija in oblika vrzeli (Denslow in Spies, 1990). Motnje, ki nastopajo v gospodarskem gozdu in pragozdu, niso iste, lahko pa imajo podoben vpliv na nadaljnji razvoj gozda, predvsem če gre za isti gozdni tip. Velikosti vrzeli se precej razlikujejo, če primerjamo različne vegetacijske pasove v svetovnem merilu, vendar sta povprečna velikost vrzeli in interval velikosti podobna, tudi če primerjamo tropske in gozdove zmerne vegetacijskega pasu (Runkle, 1989). V vseh primerih se število vrzeli z njihovo velikostjo zmanjšuje, obenem pa se večje vrzeli tudi redkeje pojavljajo v času (Seymour in sod., 2002).

V dinarskem jelovo-bukovem pragozdu so na vsej površini in nenehno v času prisotne majhne motnje, ki imajo za posledico nastanek relativno majhnih vrzeli (Diaci in sod., 2003). Glavni vzroki za njihov nastanek so napadi gliv in insektov, ki v kombinaciji z ujмами manjših razsežnosti, predvsem močnejšimi vetrovi, obremenitve zaradi snega ali ledu, povzročijo odmrtnje, prevrnitev ali zlom enega ali skupine dreves. Po terenskem ogledu celotnega pragozdnega rezervata Rajhenavski Rog in okoliških gospodarskih gozdov smo v raziskavo vključili največje obstoječe vrzeli in manjše rastiščno ter sestojno primerljive vrzeli. Velikosti vrzeli v naši raziskavi so se gibale med 100 in 1300 m², pri čemer se je število vrzeli z velikostjo zmanjševalo. Do podobnih

ugotovitev je v bukovem pragozdnem rezervatu Trdinov vrh prišel tudi Zeibig s sodelavci (2003) in nekateri drugi raziskovalci, ki so proučevali dinamiko sestojnih vrzeli (Runkle, 1989; Runkle, 1990; Spies in sod., 1990; Tabaku in Meyer, 1999; Mountford, 2000).

Kljub prevladujočim motnjam male intenzitete novejša raziskava v naših jelovo-bukovih pragozdovih kažejo na pomemben vpliv srednje velikih motenj na razvoj pragozdnih sestojev (Nagel in Diaci, 2006; Nagel in sod., 2006). Slednje povzročijo v sestoju vrzeli večjih površin vendar v rezervatu Rajhenavski Rog kakršnihkoli posledic tovrstnih motenj nismo opazili.

Nekatere motnje, ki nastopajo v gospodarskem gozdu, so enake tistim v pragozdu. Gre predvsem za ujme z lokalno močnimi vetrovi in prevrnitve dreves zaradi obremenitev snega in ledu. Napadi insektov in gliv kot primarni vir motnje so v gospodarskem dinarskem jelovo-bukovem gozdu manj pomembni, saj v procesu gospodarjenja taka drevesa izločamo, še preden njihova odstranitev povzroči večjo odprtino v sklepu. Motnje, ki v gospodarskem gozdu prevladujejo, so predvsem posledica gospodarjenja z gozdom. Glede na to kakšen gozdnogojitveni sistem, ki ga uporabljamo, se spreminjajo tudi jakosti motenj in s tem velikosti vrzeli, ki zaradi njih nastanejo. V primeru gozdov na kočevski strani roškega masiva, kjer je potekala naša raziskava, gre za malopovršinsko skupinsko postopno in mestoma za prebiralno gospodarjenje, ki z vidika motenj dobro posnema dogajanja v pragozdu. Glavna motnja v teh gospodarskih gozdovih je sečnja kot glavni gozdnogojitveni in gozdnogospodarski pripomoček. Kakšen vpliv ima na razvoj sestoja in kako velike vrzeli povzroča je odvisno od namena sečnje. V primeru redčenj je ta vpliv relativno majhen, če gre za gradnjo gozdne infrastrukture ali obnovitveno sečnjo, pa znatno večji.

Raziskave klime v gozdu in na prostem kažejo na vpliv zastora na osnovne klimatske dejavnike. Gozdovi senčijo tla, spreminjajo svetlobne razmere, ustavljajo veter, vlažijo zrak in blažijo temperaturene ekstreme. V primerjavi z razmerami na prostem so temperature zraka, predvsem pa zgornjih plasti tal v gozdu v poletnih mesecih nižje, spremenjene so vlažnostne razmere v tleh, manjša je tudi hitrost vetra (Carlson in Groot,

1997; Morecroft in sod., 1998). Najpomembnejši ekološki dejavnik, ki se bistveno spremeni, ko odstranimo zastor, je svetloba, ki neposredno ali posredno vpliva tudi na druge dejavnike. Vrzeli v zastoru pomenijo pomik osnovnih ekoloških dejavnikov proti razmeram na prostem. Kako velika je ta sprememba je odvisno od velikosti in oblike vrzeli (Canham in sod., 1990; Ritter in sod., 2005). Poleg večjih vrednosti svetlobe in vlage je v tleh v vrzelih tudi povečana koncentracija dušika (Ritter in Vesterdal, 2006). Vse te spremembe pomenijo bistveno boljše razmere za rast v vrzeli v primerjavi s tistimi pod zastorom. Posledica je bujna razrast pritalne vegetacije in pomlajevanja (Canham, 1988a; Poulson in Platt, 1989; Coates in Burton, 1997; Collet in sod., 2001; Coates, 2002; Diaci in sod., 2005; Galhidy in sod., 2006; Holladay in sod., 2006; Mountford in sod., 2006; Stancioiu in O'Hara, 2006b), kar smo ugotovili tudi v naši raziskavi. Ker obstaja povezava med svetlobo in ostalimi dejavniki, ki pomembno vplivajo na rast in razvoj pomlajevanja, lahko proučevanje svetlobe v vrzelih da koristne informacije za prakso gojenja gozdov.

6.1.2 Svetlobne razmere v pragozdnih in gospodarskih sestojih na rastiščih dinarskih jelovo-bukovih gozdov

Gojitveni ukrepi, predvsem sečnja, močno vplivajo na svetlobne razmere pri tleh v gozdnih sestojih. Vrednosti relativne svetlobe se v sklenjenih odraslih bukovih sestojih ponavadi gibljejo pod 3 % . Po izvedeni sečnji v takih zrelih sestojih glede na jakost ukrepa narastejo in so v intervalu med 5 – 15 % ali več, če sestoj odpremo do te mere, da nastane vrzel (Emborg, 1998; Collet in sod., 2001). Poskusi v kontroliranih razmerah so pokazali, da je spodnja meja za svetlobo, pod katero osebki bukovega mladja več ne preživijo, okoli 1 % (Watt, 1923; Burschel in Schmaltz, 1965), vendar pa je v nekaterih razmerah ta meja višje zaradi drugih dejavnikov, ki omejujejo rast, npr. pomanjkanje talne vlage ali hranil (Madsen, 1994; Ponge in Ferdy, 1997). V naši raziskavi smo posebej analizirali razpršeno in direktno svetlobo v velikih in malih vrzelih in pod zastorom. Vrednosti median so v vseh primerih relativno majhne, saj največja mediana ni presegla 16,9 %. V malih vrzelih so bile mediane pod 7 %, pod zastorom pa so bile v intervalu 2,7 – 3,6 %, kar je blizu minimuma, ki ga omenja literatura. Kljub dejstvu, da so bile izmerjene minimalne vrednosti svetlobe tudi pod 1 %, smo na vseh ploskvah pod zastorom zabeležili prisotnost bukovega pomladka. Rastiščne razmere so na lokacijah

pod zastorom, kjer je potekala raziskava, dovolj dobre, da omogočajo preživetje osebkov bukovega pomladka v izredno slabih svetlobnih razmerah. Domnevamo lahko, da v območju optimuma svojega areala, kar gotovo velja za bukev v Sloveniji, mladje bukve preživi tudi v nekoliko slabših svetlobnih razmerah kot nekje na robu svoje razširjenosti npr. na Danskem ali v S Nemčiji. Kljub temu take razmere za pomlajevanje z vidika gojenja gozdov niso zaželenne. Pomladek na ploskvah pod zastorom je bil v naši raziskavi star od 5 do 10 let, meritve letnih prirastkov glavnega in stranskih poganjkov pa so pokazale izredno majhne vrednosti ter slabe zasnove glede kvalitete. Collet in sodelavci (2001) sicer poročajo o pozitivnem odzivu 12 let starih osebkov bukve, raslih pod zastorom, na odpiranje sklepa in dodajanje svetlobe, vendar je vprašanje, kako dolgo lahko drevesca bukve v takih razmerah še preživijo in kako se bodo slabe svetlobne razmere odražale v njihovi prihodnji rasti kljub morebitnemu izboljšanju svetlobnih razmer (Brinar, 1969).

V naši raziskavi nismo odkrili razlik med pragozdom in gospodarskim gozdom, ko smo primerjali svetlobne razmere v malih vrzelih in pod zastorom. Zaradi praviloma manjših motenj in vrzeli v sklepu smo pričakovali nekoliko manjše vrednosti v pragozdu. V gospodarskih sestojih v okolici pragozdnega ostanka Rajhenavski Rog so v preteklosti gospodarili prebiralno. Danes na tem področju izvajajo skupinsko postopno gospodarjenje, ki pa zaradi majhne intenzivnosti v sestojih ohranja relativno tesen sklep in svetlobne razmere podobne tistim v pragozdu. Zaradi tega so bile razlike značilne le pri primerjavi največjih vrzeli. Kljub dokazanemu vplivu velikosti vrzeli na svetlobne razmere v vrzeli in nepričakovano večjim velikostim vrzeli v pragozdu smo v gospodarskem gozdu v velikih vrzelih izmerili več razpršene in direktne svetlobe. Večje vrednosti relativne svetlobe v gospodarskem gozdu so posledica naštetih motenj, ki očitno močneje vplivajo na svetlobne razmere v vrzelih kot naravne motnje v pragozdu.

6.1.3 Vpliv velikosti in oblike vrzeli na svetlobne razmere

V primeru prebiralnega in skupinsko prebiralnega gospodarjenja so si vrzeli v pragozdu in gospodarskem gozdu glede velikosti podobne, obstaja pa bistvena razlika v obliki oz. tlorisu vrzeli. V naši raziskavi smo zabeležili bolj pestre oblike vrzeli v pragozdu, vendar razlika ni bila velika, saj je bil povprečen indeks oblike v pragozdu 2,8 v

gospodarskem gozdu pa 2,2. Z naraščajočim indeksom oblike so v grobem padale maksimalne vrednosti in interval relativne razpršene svetlobe tako v vrzelih s površino do 500 m² kot tudi v tistih s površino nad to vrednostjo. Zakonitost je bila manj jasna za direktno svetlobo, kjer so maksimalne vrednosti in intervali rahlo naraščali z naraščanjem indeksa oblike. Razpršena svetloba je močno odvisna od oblike nezastrte površine vrzeli, zato smo pričakovali večje maksimalne vrednosti pri manjših indeksih oblike, kar smo potrdili v velikih in malih vrzelih. Vzrok za razmeroma nejasen odnos med obliko vrzeli in svetlobnimi razmerami so domnevno drugi dejavniki, predvsem razmere v okoliški sestoji in orientacija daljše osi vrzeli, ki niso upoštevani v indeksu oblike, vendar vplivajo na vrednosti relativne svetlobe znotraj vrzeli.

Tlorisi so v pragozdu bolj geometrijsko nepravilni, zato smo pričakovali bistveno manjšo odvisnost med velikostjo vrzeli in svetlobnimi razmerami v pragozdu v primerjavi z gospodarskim gozdom. Odvisnost je sicer v gospodarskem gozdu bila bolj izrazita, vendar smo jo tudi v pragozdu potrdili. Poznavanje vpliva velikosti vrzeli na svetlobne razmere v vrzeli in njeni okolici je z vidika gojenja gozdov pomembno. Močna pozitivna odvisnost med velikostjo vrzeli in svetlobo pomeni dobre možnosti za usmerjanje razvoja mladovja z relativno preprostimi gojitvenimi ukrepi. Obenem je velikost vrzeli relativno enostavno vključevati in interpretirati v operativnih smernicah za gojitveno ukrepanje. V naši raziskavi smo ugotovili močan vpliv velikosti vrzeli le na maksimalne vrednosti svetlobe v vrzelih, medtem ko je bil vpliv na srednje vrednosti sicer značilen vendar manj izrazit.

Sklepamo lahko, da velikost vrzeli in njena oblika nista edina dejavnika, ki definirata svetlobne razmere in v povezavi z njimi tudi druge ekološke dejavnike v vrzeli in njeni okolici. Slednje verjetno še posebej drži za objekte v naši raziskavi, ko v okolici vrzeli lahko najdemo vertikalno pestre in raznodobne sestojne strukture, ki so pri prebiralnem gospodarjenju na rastiščih jelovo-bukovih gozdov praviloma običajne in lahko poleg oblike vrzeli bistveno vplivajo na prostorsko razporeditev posameznega ekološkega dejavnika v vrzeli (Poulson in Platt, 1989; Canham in sod., 1990; Raymond in sod., 2006). Natančnejše poznavanje strukture okoliškega sestoja ter bližine in velikosti najbližjih sosednjih vrzeli povečuje možnosti za učinkovito gojitveno ukrepanje v

smislu zagotavljanja določenih svetlobnih razmer za razvoj mladovja. Kljub temu uporaba šablon ali ozko definiranih vrednosti velikosti vrzeli v povezavi s posameznimi gojitvenimi sistemi ali celo rastišči ni smiselna in lahko vodi k napakam pri posredni vzgoji mlajših razvojnih faz.

6.2 SVETLOBNE RAZMERE ZNOTRAJ VRZELI

Prostorska razporeditev različnih vrednosti direktne svetlobe, ki smo jo ugotovili v naši raziskavi, je za naš geografski položaj pričakovana, saj smo največje vrednosti izmerili v severnem delu vrzeli in pod zastorom severno od vrzeli (Nakashizuka, 1985; Canham in sod., 1990). Ta vzorec je značilen tudi za zelo pestro oblikovane vrzeli z indeksi oblike, ki presegajo vrednost 3 (Lertzman in Krebs, 1991). Poleg velikosti vrzeli in pestrosti njene oblike na velikost območja, kjer so vrednosti direktne svetlobe relativno velike, vpliva tudi orientacija daljše osi vrzeli. Pri vrzelih z daljšo osjo v smeri vzhod-zahod je to območje večje, vrednosti direktne svetlobe pa so manjše, medtem ko je pri vrzelih orientiranih v smeri sever – jug območje manjše, vendar so vrednosti svetlobe tam večje (Canham, 1988b). Kljub homogenemu sklepu krošenj nad raziskovalnimi ploskvami smo pod zastorom ugotovili relativno pestro prostorsko porazdelitev posameznih vrednosti direktne svetlobe. Naša ugotovitev se ne sklada povsem z rezultati podobne raziskave v drugotnem smrekovem gozdu v visokogorskem vegetacijskem pasu Karavank (Rozman, 2007), kjer je avtor ugotovil pod zastorom izrazito homogene svetlobne razmere. Glavni razlog za omenjene razlike je domnevno različna sestojna struktura. Naša raziskava je potekala v jelovo-bukovih gozdovih z zgradbo mestoma podobno prebiralni. Vrednosti direktne svetlobe so se intenzivno spreminjale že na majhnih razdaljah predvsem zaradi manjših vrzeli v skepu krošenj južno od točk meritev, ki so v sestojih tega tipa pogoste.

S pomočjo prostorske analize pojavljanja različnih vrednosti svetlobe smo ugotovili, da je imela razpršena svetloba v primerjavi z direktno drugačen vzorec pojavljanja. Tako kot drugi raziskovalci (Nakashizuka, 1985; Canham, 1988b; Canham in sod., 1990) smo največje vrednosti praviloma našli v sredini vrzeli, južno od maksimalnih vrednosti za direktno svetlobo. Vrednosti proti robovom vrzeli so simetrično padale. V malih vrzelih

z zelo pestro obliko je bil ta vzorec lahko premaknjen v smer, kjer je bil večji delež površine vrzeli. V primerjavi z direktno svetlobo je bila razpršena svetloba pod zastorom veliko bolj homogeno razporejena. Intervali vrednosti so bili manjši, spremembe pa niso bile velike na tako majhnih razdaljah.

Čeprav je analiza svetlobnih razmer pokazala večje intervale vrednosti v gospodarskem gozdu, pa smo z analizo prostorske razporeditve svetlobe ugotovili večjo prostorsko pestrost svetlobnih razmer v pragozdu. V pragozdu so sestojne vrzeli posledica naravnih motenj in so zato razporejene po celotni površini gozda, obenem pa nastajajo nenehno. Njihova prisotnost fragmentira svetlobne razmere na razdaljah, ki so veliko manjše od tistih v gospodarskem gozdu.

Prostorska razporeditev posameznih razredov (A, B, C in D) z različnimi svetlobnimi razmerami v vrzeli nakazuje vzorec, ki ga lahko opazimo pri vseh proučevanih vrzelih. Tovrstne ugotovitve so potrdile tudi prejšnje raziskave (Diaci in sod., 2003; Diaci in sod., 2005), ki obenem kažejo, da je posamezen razred svetlobnih razmer tesno povezan z drugimi ekološkimi dejavniki, kot sta npr. toplota in talna vlaga. Glede na prejeta direktno svetlobo so bile povprečne temperature v razredu B in D višje, kombinacija prejete svetlobe in lokacije pod zastorom z večjo porabo talne vode pa posledično vpliva na majhne vsebnosti talne vlage predvsem v razredu D in deloma v razredu C (Vilhar, 2005). Če uporabimo pri vseh vrzelih za štiri razrede iste mejne vrednosti za posamezno vrsto svetlobe, opazimo razlike med velikimi in malimi vrzelmi, predvsem v deležu posameznega svetlobnega razreda. V večjih vrzelih je večji delež razreda B, v malih pa razreda A in deloma razreda C. Navedena ugotovitev nakazuje različne povprečne klimatske značaje vrzeli glede na njihove velikosti, kljub dejstvu, da v vsaki vrzeli na posameznih točkah najdemo zelo pestre svetlobne razmere.

6.3 VPLIV SVETLOBNIH RAZMER NA NEKATERE OSNOVNE PARAMETRE RASTI OSEBKOV BUKOVEGA MLADOVJA

Vse spremembe sicer normalnih procesov rasti, ki jih lahko opazimo pri mladih drevesih, ki uspevajo v slabih svetlobnih razmerah, so posledica njihove težnje, da bi kar najboljše izkoristila svetlobo, ki je na razpolago, in obenem zmanjšala porabo oz.

dihanje ter na tak način v težkih razmerah preživela. Najbolj pogoste prilagoditve so zmanjševanje višinske rasti, povečevanje lateralne rasti, zmanjševanje dolžine žive krošnje, zmanjševanje števila poganjkov, povečevanje površine zastiranja krošnje in morfološke spremembe listov v smeri boljšega izkoriščanja svetlobe (Messier in sod., 1999). Nekatere vrste celo povsem prenehajo z višinsko rastjo, če ta ne pripomore k izboljšanju svetlobnih razmer rastline (Messier in Nikinmaa, 2000).

Prisotnost kresnih poganjkov oz. policiklične rasti je odvisna od svetlobe in domnevno znatno vpliva na razrast mlajših osebkov bukve. Nicolini in Caraglio (1994) sta pod sklenjenim zastorom našla le 14 % osebkov s kresnimi poganjki, medtem ko je bilo takih osebkov pri polni osvetljenosti 51 %. V njuni raziskavi svetlobne razmere žal niso natančno metrično definirane, vendar so do podobnih ugotovitev prišli tudi drugi avtorji. Stancioiu in O'Hara (2006a) sta na primer ugotovila, da se policiklična rast pojavlja le v svetlobnih razmerah nad 45 % relativne svetlobe. Tudi Sagheb Thalebi (1995) je ugotovil pozitiven vpliv relativne svetlobe na pojavljanje kresnih poganjkov. Navaja, da je delež osebkov bukve s kresnimi poganjki z 2,4 % pri vrednosti relativne svetlobe pod 20 % narasel na 60,2 % pri vrednosti relativne svetlobe nad 80 %. V naši raziskavi je bil delež osebkov s kresnimi poganjki le 1,1 % na celotnem intervalu obeh tipov svetlob (FDIR 1,0 – 25,6 %; FDIF 2,4 – 21,1 %), kar je bližje ugotovitvam Brinarja (1969), ki prisotnost kresnih poganjkov pripisuje klimatskim razmeram v zadnjem rastnem letu in individualnim lastnostim posameznih osebkov. Pomembno je, da v tem delu naše raziskave maksimalne vrednosti razpršene svetlobe niso presegle 22 %, direktne pa ne 26 %, kar pomeni, da se nahajamo v skrajnem spodnjem delu intervala možnih svetlobnih razmer in da naše ugotovitve s tem v zvezi veljajo le za pragozdne in gospodarske prebiralne sestoje na dinarskih jelovo-bukovih rastiščih v Kočevskem Rogu. Glede na literaturo in nekatera naša opazovanja zunaj raziskovalnih ploskev domnevamo, da je pojavljanje kresnih poganjkov pri bukvi, kljub našim rezultatom, odvisno od svetlobnih razmer. Značilni vpliv se domnevno začne pri večjih vrednostih relativne svetlobe oz. v kasnejši fazi razvoja mladovja, kar bo mogoče potrditi z nadaljnjimi raziskavami.

Preživetje mladega drevesca pod zastorom v slabih svetlobnih razmerah je odvisno od različnih prilagoditev, med katerimi ima prilagojena oblika krošnje pomembno vlogo. Široka in sploščena krošnja v primerjavi z globoko in ozko omogoča bolj racionalno prestrezanje razpršene svetlobe z minimalnim vlaganjem v neproduktivna tkiva, obenem pa je samosenčenje, ki lahko zmanjša učinkovitost asimilacije, minimalno (Takyu, 1998). Zaradi pomena krošnje za uspešen razvoj bukovih drevesc v mladovju smo v naši raziskavi na delu raziskovalnih ploskev proučevali tudi osnovne dimenzije krošenj dominantnih bukovih drevesc. Za analizo smo uporabili parametra DK (delež krošnje) in RSD (razmerje med povprečno širino in dolžino krošnje), ki oba deloma pojasnjujeta tudi osnovno obliko razrasti osebkov mladovja.

DK v splošnem narašča z izboljšavo socialnega položaja drevesa v sestoji (Chadwick in Bruce, 1990). Svetlobo, ki jo ima osebek na razpolago, lahko uporabimo kot indikator socialnega statusa drevesa, pri čemer pričakujemo večje DK pri večjih vrednostih relativne svetlobe (Messier in sod., 1999; Stancioiu in O'Hara, 2006a) ob isti višini osebka, saj se vpliv svetlobe na DK domnevno zmanjšuje z njegovo višino (Delagrange in sod., 2004). V naši raziskavi smo potrdili pozitivno odvisnost med svetlobo in DK, ki se je povečevala z večanjem svetlobe. Kljub značilnosti je bila odvisnost slabo izražena, saj smo pri majhnih vrednostih relativne svetlobe nad 5 % opazili širok spekter vrednosti DK. Vrednosti DK pod 0,5 smo opazili le pri 9 % vseh drevesc. Vsa so rasla v razmerah majhne osvetlitve z vrednostmi relativne svetlobe pod 5 %, kar kaže na dobro prenašanje stresa ob majhnih vrednostih svetlobe pri osebkih bukovega mladovja (Canham, 1988a).

Drevesa, ki rastejo v neugodnih svetlobnih razmerah, imajo več možnosti za preživetje, če pospešujejo lateralno rast svoje krošnje (Messier in sod., 1999), kar neposredno vpliva na RSD, saj se pri istem volumnu krošnje njena oblika lahko zelo spreminja. Pričakovali smo bistvene razlike v RSD med osebki, ki rastejo v izrazito slabih, in tistih, ki uspevajo v dobrih ali celo odličnih svetlobnih razmerah. Dobre svetlobne razmere naj bi se kazale v majhnih vrednostih razmerja med širino in dolžino krošnje (RSD) (Stancioiu in O'Hara, 2006a). Rezultati naše raziskave so to potrdili, vendar je bila

povezava med RSD in svetlobo slabo izražena, razlike v RSD med dobro in slabo osvetljenimi osebki bukve pa manjše od pričakovanih.

Svetlobne razmere nedvomno vplivajo na obliko in osnovne značilnosti krošnje bukovih drevesc, vendar smo pričakovali večji vpliv svetlobe na DK in RSD. Oba analizirana parametra DK in RSD relativno dobro definirata obliko krošnje osebkov bukovega mladovja. Ker podajata relativne vrednosti, ju je smiselno uporabljati pri analizi krošenj različno velikih in starih osebkov. Kljub temu moramo pri interpretaciji upoštevati, da nanju poleg svetlobe vplivajo tudi drugi dejavniki. Eden od razlogov za relativno šibko odvisnost med svetlobo in DK ter RSD pri osebkih bukovega mladovja je dejstvo, da naša raziskava, kljub temu da smo iskali ekstremne svetlobne razmere, v tem delu ni pokrila celotnega spektra svetlobe. V raziskavi ni bilo ploskev z izrazito velikimi vrednostmi relativne svetlobe, ki bi verjetno dala jasnejšo sliko odvisnosti med proučevanimi parametri. Na DK in RSD vplivajo tudi zunanje razmere, predvsem gostota mladja in konkurenca. Meritve svetlobe smo v naši raziskavi izvedli na višini 1,3 m, oziroma tik nad zgornjo plastjo mladovja. V analizi smo upoštevali dominantne osebke, torej tiste, ki vsaj z zgornjim delom krošnje dejansko prejmejo izmerjene vrednosti svetlobe. Kljub temu je vpliv konkurenčnih dreves in senčenja s strani na DK in RSD dominantnih dreves velik, kar dodatno pojasnjuje relativno šibek vpliv svetlobe na oba dejavnika.

6.4 PRIMERJAVA IZBRANIH PARAMETROV RASTI MLADOVJA V PRAGOZDU IN GOSPODARSKEM GOZDU

Primerjava zastiranja mladovja in zeliščne plasti je pokazala značilno večje zastiranje mladovja in manjše zastiranje zelišč v pragozdu. V zastiranju mladovja posamezno po drevesnih vrstah ni bilo razlik med pragozdom in gospodarskim gozdom za bukev in jelko, kar kaže na to, da razlik v zastiranju mladovja ne moremo pripisati posamezni drevesni vrsti. Manjše zastiranje mladovja je domnevno posledica večje konkurence zeliščne plasti. Zelišč je več v gospodarskem gozdu zaradi boljših svetlobnih razmer. Vrzeli v sklepu krošenj v gospodarskem gozdu nastanejo bolj nenadno, na večji površini in brez prisotnosti pomladka. Zelišča imajo tako v gospodarskem gozdu boljše možnosti, da zavzamejo rastni prostor kot v pragozdu, kjer sestojne vrzeli nastajajo bolj

postopno in skoraj brez izjeme na mestih, kjer je pomladek že prisoten. Takšne razmere ustrezajo tudi bolj svetloljubnemu gorskemu javorju, katerega značilno večje gostote smo ugotovili v gospodarskem gozdu. Vsi ostali parametri, če izvzamemo zastiranje mrtvega lesa, ki je v pragozdu pričakovano precej večje, kažejo na zelo izenačene razmere v pragozdu in gospodarskem gozdu.

6.5 RAZRAST OSEBKOV MLADOVJA BUKVE IN SVETLOBNE RAZMERE

Glede na rezultate naše raziskave lahko potrdimo domnevo, da v pojavljanju posameznih tipov razrasti glavnega poganjka in celotnih osebkov bukovega mladovja ni razlik med gospodarskim gozdom in pragozdom. Tak rezultat smo pričakovali, saj smo izbirali rastiščno in sestojno podobne lokacije za oba stratuma raziskave, poleg tega pa smo v gospodarskem gozdu izbrali tiste vrzeli in površine mladovja, kjer nege ni bilo. V obeh primerih je okoli

40 % vseh osebkov imelo neugodno razrast glavnega poganjka, kar ob zadostni gostoti in predpostavki, da ni drugih izrazitih neugodnih dejavnikov, ki bi povečevali smrtnost osebkov bukovega mladovja, ne pomeni večjega problema pri negi mlajših razvojnih faz. Podobne vrednosti smo ugotovili tudi v raziskavi razraščanja bukve v goščah podgorskega bukovega gozda, kjer so se deleži neugodno razvitih glavnih poganjkov glede na svetlobne razmere gibali med 35 in 55 % (Bitorajc in Tanko, 2004). Drugače je pri deležih neugodne razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja v naši raziskavi, saj se ti gibljejo okoli 82 % tako v gospodarskem gozdu kakor tudi v pragozdu, kar pa v določenih primerih verjetno lahko pomeni oviro pri zagotavljanju zadostnega deleža kvalitetnih dreves v starejših razvojnih fazah.

V naši raziskavi smo v vrzel v širšem smislu vključili tudi neposredno okolico vrzeli pod zastorom. Ker smo domnevali, da so razmere v neposredni okolici vrzeli pomembno drugačne v primerjavi z odprtim delom vrzeli, smo analizirali posebej vsak nivo odprtosti sklepa in primerjali deleže razrasti glavnih poganjkov in celotnih osebkov v odprti vrzeli, pod zastorom v okolici vrzeli in pod sklenjenim zastorom. Ugotovili smo, da na razrast glavnega poganjka omenjena stratifikacija ni imela močnega vpliva, razen v primeru pojavljanja metlaste oblike glavnega poganjka, ki je

manjkala pod sklenjenim zastorom. Veliko bolj značilen je bil vpliv prisotnosti sklepa na razrast celotnih osebkov bukovega mladovja. Povečevanje deleža sklepa in s tem slabšanje svetlobnih razmer se je odražalo v večjih deležih plagiotropnih osebkov. Ugotovimo lahko, da že z definicijo lokacije znotraj sestoja glede na vrzel lahko dobimo grobe podatke o svetlobnih razmerah in osnovnih zakonitostih razrasti mladovja bukve.

6.5.1 Izbrani parametri znotraj tipov razrasti glavnega poganjka in celotnega osebka bukovega mladovja

6.5.1.1 Svetloba

Preverjanje razlik v svetlobnih razmerah znotraj tipov razrasti glavnega poganjka in celotnega osebka bukovega mladovja je pokazalo, da so osebki v posameznih tipih uspevali v značilno različnih svetlobnih razmerah. Relativne razlike svetlobnih razmer med posameznimi razredi, tako za glavni poganjek kot tudi za celotne osebke bukovega mladovja, so bile večje v gospodarskem gozdu, kar nakazuje večje kontraste v rastiščnih razmerah v primerjavi s pragozdom. To lahko pripišemo absolutno večjim intervalom obeh tipov svetlob, ki se pojavljajo v gospodarskem gozdu zaradi že omenjenih razlogov. Kljub temu so si osnovni trendi glede svetlobnih razmer in posameznih tipov razrasti v pragozdu in gospodarskem gozdu podobni.

Naša raziskava kaže, da ni velikih razlik v svetlobnih razmerah, v katerih se razvijajo različne oblike razrasti glavnih poganjkov. Rogovilasti glavni poganjki so se pojavljali v celotnem intervalu svetlobnih razmer, ni pa bilo velikih razlik v prejeti svetlobi med enoosnimi in rogovilastimi poganjki, kar so opazili v nekaterih raziskavah (Nicolini, 1994; Stancioiu in O'Hara, 2006a). V omenjenih raziskavah so raziskovalci uporabili le dva tipa razrasti glavnega poganjka in sicer enoosni in rogovilasti tip razrasti. Rogovilasti osebki so bili v obeh primerih definirani kot osebki brez glavnega poganjka, kar pomeni, da je ta kategorija vsebovala tudi osebke z več in ne samo dvema enakovrednima stranskima poganjkoma. V naši raziskavi smo uporabili še dodatni, tretji tip razrasti glavnega poganjka- metlast, kot je to predlagal Sagheb-Talebi (1995). Osebki z metlastim glavnim poganjkom so prejeli dvakrat večje vrednosti relativne svetlobe obeh tipov, kar je očitno pomembno za enakovreden razvoj treh ali več glavnih

poganjkov. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Sagheb-Talebi (1995), vendar so večje vrednosti svetlobe v njegovi raziskavi prejeli tudi osebki z rogovilasto razvitim glavnim poganjkom. Te ugotovitve v naši raziskavi niso bile potrjene, saj so bile svetlobne razmere, v katerih so uspevali osebki z rogovilastimi poganjki veliko bližje tistim, ki so jih imeli osebki s pokončni poganjki, kot pa tistim, v katerih so rasli osebki z metlastimi poganjki.

Največje vrednosti obeh tipov svetlobe so v vrzeli izrazito prostorsko določene. Razpršene svetlobe (FDIF) je največ v srednjem delu vrzeli, direktne (FDIR) pa v naših geografskih legah v severnem delu vrzeli (Canham in sod., 1990; Raymond in sod., 2006). Velike vrednosti svetlobe neposredno in posredno močno vplivajo tudi na druge ekološke dejavnike, predvsem pa na mikroklimo, kar se kaže v bolj ekstremnih vrednostih predvsem temperature in talne ter zračne vlage (Carlson in Groot, 1997; Ritter in sod., 2005). Vse to lahko v določenih kombinacijah povzroči odmrtnje glavnega poganjka in razvoj več enakovrednih poganjkov pri osebkih bukve (Nicolini, 1994). Nicolini (1994) je v svoji raziskavi večji delež rogovilastih osebkov našel pri velikih vrednostih, pa tudi pri izrazito majhnih vrednostih svetlobe. Tega v naši raziskavi nismo potrdili, kar kaže na to, da procesi in ekološke razmere, ki povzročajo rogovilasto rast, niso enaki tistim, ki povzročajo metlasto rast.

Primerjava svetlobnih razmer za posamezne tipe razrasti celotnih osebkov bukovega mladovja je pokazala, da lahko vse tipe razrasti najdemo v celotnem intervalu svetlobnih razmer naše raziskave. Kljub temu, so pokončni osebki praviloma prejeli večje deleže relativne razpršene in direktne svetlobe, najmanj svetlobe pa so prejeli osebki s plagiotropno razrastjo. Razlike v srednjih vrednostih prejete svetlobe so sicer značilne, vendar minimalne (1,6 – 2,3 %), kar pomeni, da so že minimalni gojitveni ukrepi v zgornji plasti ali v okolici vrzeli pomembni za razvoj posameznega osebka mladovja. Ta vpliv je še posebej opazen v primeru malih vrzeli in mladja pod zastorom, ki prejme relativno majhne vrednosti relativne svetlobe.

6.5.1.2 Dimenzijsko razmerje (HD)

Dimenzijsko razmerje (HD) lahko uporabljamo kot merilo mehanske stabilnosti osebkov mladovja. V našem primeru je definirano kot razmerje med višino in premerom osebka na koreninskem vratu. Pokončni osebki so imeli v naši raziskavi značilno večje dimenzijsko razmerje kot osebki z deformacijo stebela, rogovilasti, metlasti ali plagiotropni osebki. Najmanjše vrednosti HD smo opazili pri osebkih z metlasto razrastjo glavnega poganjka, ki smo jih sicer našli na lokacijah z značilno večjimi vrednostmi svetlobe. V primeru metlaste razrasti gre za osebke z več enakovrednimi glavnimi poganjki, ki si konkurirajo, kar se domnevno odraža tudi v manjši višini osebka in posledično manjšem razmerju med višino in premerom. V razmerah večjih vrednosti relativne svetlobe pričakujemo tudi večje razmerje med višino in premerom osebkov, saj ti ponavadi v boljših svetlobnih razmerah bolj intenzivno višinsko priraščajo. Do podobnih ugotovitev so prišli naši raziskovalci (Diaci in Kozjek, 2005), ki so v letvenjaskih pragozdnih rezervatov Pečka in Rajhenavski Rog ugotovili večje dimenzijsko razmerje v večjih vrzelih. Raziskave v mlajših razvojnih fazah v bukovih in gozdovih jelke in bukve kažejo obratno sliko. Bitorajc in Tanko (2004) sta v bukovih goščah pri vrednostih relativne svetlobe nad 68 % ugotovila povprečno dimenzijsko razmerje okoli 150, pri vrednostih relativne svetlobe pod 33 % pa okoli 200. Podobno tudi Jenko (2007) ugotavlja povečevanje vrednosti dimenzijskega razmerja z zmanjševanjem vrednosti relativne svetlobe.

Dimenzijsko razmerje je v negativni povezavi z dolžino krošnje in v pozitivni povezavi z gostoto osebkov (Kotar, 1982). Glede na to, da vse oblike krošnje, ki niso enoosne, zahtevajo večji rastni prostor in s tem deloma zmanjšujejo gostoto mladja, je manjša vrednost HD pri metlastih osebkih pričakovana. Poprečne vrednosti dimenzijskega razmerja za pokončne osebke so se v naši raziskavi gibale med 75 in 90. Mejna vrednost, ki bi lahko bila z vidika mehanske stabilnosti deloma že problematična in pri kateri se verjetnost poškodbe sestoja bistveno poveča, je glede na literaturo nekje okoli 85. V našem primeru smo blizu te meje, vendar se mejna vrednost nanaša na starejše sestoje v primerjavi s tistimi, ki smo jih obravnavali sami. Analize v goščah kažejo na bistveno večje vrednosti HD, ki dosegajo vrednosti do okoli 200, kar pomeni, da

vrednosti, ki smo jih ugotovili v naši raziskavi, verjetno še niso kritične. Kljub temu povečevanje vrednosti dimenzijskega razmerja lahko ogrozi stojnost bukovih mladovij, še posebej v primeru večjih gostot mladovja in ob pojavu poletnih suš, ki povzročijo neodpadanje bukovih listov.

6.5.1.3 Dolžinski prirastek

Dolžinski prirastek pri mlajših osebkih nakazuje rastne razmere in potencialni socialni položaj osebka v prihodnosti, zato je v gojitveni praksi lahko uporaben indikator za določanje osebkov, ki jih bomo pospeševali. V naši raziskavi smo ugotovili, da je dolžinski prirastek v primerjavi z drugimi tipi razrasti večji pri enoosnih in pokončnih osebkih, kar kaže na njihovo prednost predvsem pri osvajanju vertikalne komponente prostora. Pokončni in enoosni osebki uspevajo v značilno boljših svetlobnih razmerah, kar je v našem primeru verjetno pomemben razlog za večji višinski prirastek (Beaudet in Messier, 1998). O povezavi med višinskim prirastkom in svetlobnimi razmerami ter majhnih dolžinskih prirastkih v slabih svetlobnih razmerah poročajo tudi drugi avtorji. Raziskave v goščah in letvenjaki v naših dinarskih podgorskih bukovih in gorskih gozdovih jelke in bukve, kažejo značilno skoraj dvakrat manjše vrednosti prirastkov tekočega leta v manjših vrzelih. Vrednosti relativne svetlobe so bile v malih vrzelih med 0 in 33 %, vrednosti višinskega prirastka v teh svetlobnih razmerah pa pri goščah okoli 30 cm (Jenko, 2007), pri letvenjaki pa okoli 20 cm (Bitorajc in Tanko, 2004). Collet in ostali (2001) so v svoji raziskavi bukovega pomladka pri vrednostih relativne svetlobe okoli 5 % pod sklenjenim zastorom ugotovili, da je imel povprečni letni dolžinski prirastek osebkov bukovega pomladka vrednost 1,2 cm, kar naj bi bila spodnja meja za preživetje. Na naših ploskvah smo našli le 4 % osebkov s prirastkom manjšim kot 1,5 cm s praviloma manj kot 5 % direktne in manj kot 4 % razpršene svetlobe, ki so se v večini primerov nahajali pod zastorom. Odvisnost povprečnega višinskega prirastka, predvsem pa višinskega prirastka zadnjega leta, od svetlobnih razmer sicer ni izrazita, o čemer poročajo mnogi avtorji (Canham, 1988a; Chadwick in Bruce, 1990; Kozłowski in Pallardy, 1997). Dejavniki, ki nanj vplivajo so poleg svetlobe in zastiranja zgornje sestojne plasti tudi razmere za rast v prejšnji rastni sezoni, vitalnost osebka in predvsem

razmere v tleh (Welander in Ottoson, 1998), ki se na rastiščih jelovo-bukovih gozdov v Dinaridih močno spreminjajo na zelo majhni površini.

6.5.1.4 Drugi izbrani parametri

S pomočjo analize razlik v pokrovnosti mladja, zelišč, skal, mrtvega lesa, bukve, jelke in gorskega javorja ter gostot za iste tri vrste smo poskušali dobiti več informacij o rastnih razmerah, v katerih uspevajo posamezni tipi razrasti, tako glavnega poganjka kot tudi celotnih osebkov bukovega mladovja. Ugotovili smo, da so razlike, čeprav značilne, minimalne. Tako glede na analizirane parametre ne moremo govoriti o bistveno drugačnih razmerah za rast osebkov bukovega mladovja pri različnih tipih razrasti. Očitno je, da se vsi tipi razrasti lahko pojavljajo v različnih kombinacijah pokrovnosti tal z zelišči, skalami ali mrtvim lesom, obenem pa je bila gostota jelke in gorskega javorja v mladovju na naših lokacijah premajhna, da bi lahko govorili o vplivu na tipe razraščanja. Edini parameter z znatno različnimi vrednostmi pri posameznih tipih razrasti poganjka in tudi celotnih osebkov bukve je bila gostota bukve, ki je bila manjša pri plagiotropnih osebkih in osebkih z metlasto razrastjo glavnega poganjka. Iz naše raziskave je razvidno, da plagiotropni osebki rastejo v bistveno slabših svetlobnih razmerah, ki nedvomno vplivajo tudi na gostoto in višino bukovega mladovja. Po drugi strani so gostote manjše tudi v primeru metlastih osebkov, ki pa uspevajo v značilno boljših svetlobnih razmerah. Dejstvo je, da pri obeh tipih razrasti osebek zaseda več ravnega prostora, tako da morebitnega vpliva na gostoto ne moremo povsem izključiti. Za natančnejšo opredelitev bi zato potrebovali še analize drugih ekoloških dejavnikov.

6.5.2 Vpliv svetlobe na pojavljanje posameznih tipov razrasti glavnega poganjka in celotnih osebkov bukovega mladovja

Pomlajevanje poteka v izredno časovno in prostorsko pestrih svetlobnih razmerah, ne glede na to ali gre za pragozd ali gospodarski gozd. Da bi lahko razvoj pomlajevanja uspešno usmerjali, je pomembno, da poznamo reakcije bukovega mladovja na celotnem intervalu svetlobnih razmer, ki v procesu osnivanja novega sestoja nastopajo (Collet in sod., 2001). Raziskovalci so že v prvih študijah ugotovili, da lahko bukov pomladek izredno dolgo zdrži pod sklenjenim zastorom in se progresivno odziva na dodajanje

svetlobe (Watt, 1923). Tudi kasnejše raziskave so potrdile močan vpliv sklepa in svetlobnih razmer na razrast osebkov bukovega mladja (Burschel in Schmaltz, 1965; Madsen, 1994; Van Hees, 1997; Collet in sod., 2002).

V naši raziskavi nas je zanimalo predvsem, kako svetloba vpliva na tiste oblike razrasti, ki so z vidika kvalitete najbolj neugodne. V primeru glavnega poganjka sta to rogovilasta in metlasta razrast, ki lahko v primeru nadaljnje enakovredne rasti glavnih poganjkov zmanjšujeta vrednost bodočih bukovih sestojev. Rezultati analize vpliva svetlobe na razrast kažejo, da ima svetloba pomembno vlogo pri oblikovanju krošnje in habitusa osebkov bukovega mladovja. Do teh ugotovitev so prišli tudi drugi avtorji (Nicolini in Caraglio, 1994; Nicolini, 1998; Nicolini, 2000; Stancioiu in O'Hara, 2006a). Nicolini in Caraglio (1994) sta opazila večjo prisotnost rogovile tako v razmerah zastrtega sklepa in šibke svetlobe, kakor tudi pri veliki odprtosti sklepa in velikih vrednostih svetlobe. Po njunem mnenju so glavni razlogi za to dejstvo kombinacije dejavnikov in sicer: pod zastorom naj bi bila rogovila posledica lateralne rasti glavnega poganjka in prevzemanja dominacije prvega stranskega poganjka, pri polni osvetljenosti pa je rogovila lahko posledica močne rasti prvega stranskega poganjka ali poškodba brsta, ki nastane zaradi ekstremnejših klimatskih razmer. Tudi Stancioiu in O'Hara (2006a) sta ugotovila šibko odvisnost med pojavljanjem rogovile in svetlobo. V njuni raziskavi se je verjetnost pojavljanja rogovile s povečevanjem svetlobnih vrednosti zmanjšala z 0,6, pri relativni svetlobi okoli 2 %, na 0,1 pri 100 % relativni svetlobi. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Jenko (2007), ki je v goščah dinarskih jelovo-bukovih gozdov v okolici Soteske ugotovil manjše deleže dvovrhatih osebkov pri vrednostih relativne svetlobe nad 67 %, pri čemer pa analiza deleža dvovrhatih osebkov pri vrednostih relativne svetlobe pod 30 % ni pokazala velikih razlik. V nobeni raziskavi avtorji ne navajajo, ali so v kategorijo rogovilastih osebkov vključili tudi metlaste osebkke, kar je lahko vir nekaterih razlik v rezultatih. Ugotovitev prej omenjenih raziskav drugi avtorji (Sagheb Talebi, 1995) v svojih študijah niso potrdili, saj so v teh primerih deleži rogovilastih in tudi metlastih osebkov s svetlobo rahlo naraščali. Rezultati naše raziskave kažejo podobno sliko, saj logistična regresija ni pokazala značilne odvisnosti med svetlobo in pojavljanjem rogovile, ampak samo močno značilno, toda relativno šibko odvisnost med svetlobo in pojavljanjem metlastega tipa

razrasti. S povečevanjem svetlobe se je verjetnost pojavljanja metlaste razrasti povečevala z 0,1 pri vrednosti direktne in razpršene svetlobe okoli 2 % na vrednosti med 0,5 in 0,7 pri vrednostih obeh tipov relativne svetlobe okoli 40 %. Povečevanje deleža metlastih osebkov z večanjem relativne svetlobe so v dinarskih jelovo-bukovih gozdovih ugotovili tudi drugi raziskovalci (Bitorajc in Tanko, 2004; Jenko, 2007). Kot v primeru rogovile je tudi pri metlasti razrasti možen vzrok za njeno pojavljanje prisotnost proleptične rasti in odmrtnosti glavnega poganjka (Roloff, 1987), ki je praviloma bolj pogosto v centralnem delu vrzeli z ostrejšimi klimatskimi razmerami in večjimi vrednostmi svetlobe. Na pojavljanje rogovile ali metle domnevno vpliva tudi gostota mladovja, pri čemer manjše gostote pomenijo manj konkurence za prostor s strani, to pa omogoča vsem lateralnim poganjkom relativno enakovredne razmere (Chadwick in Bruce, 1990). Tudi v naši raziskavi je bila gostota osebkov bukovega mladovja najmanjša za metlaste osebke, medtem ko so bile gostote za enoosne in rogovilaste osebke podobne.

V naši raziskavi plagiotropnih osebkov v vrzeli ni bilo veliko, medtem ko je bilo nekajkrat več pod zastorom v okolici vrzeli, še več pa pod sklenjenim zastorom; to lahko pripišemo manjšim vrednostim relativne svetlobe in posledično aktiviranju mehanizmov povečevanja tlora krošnje in s tem preživetja rastline. Tako kot nekateri drugi raziskovalci smo ugotovili značilno zmanjševanje verjetnosti pojavljanja plagiotropnih osebkov bukve s povečevanjem svetlobe. Verjetnost pojavljanja plagiotropne razrasti je padla pod vrednost 0,2 pri vrednostih za obe svetlobi okoli 45 %. Podobno odvisnost med verjetnostjo pojavljanja plagiotropnih osebkov in relativno svetlobo sta ugotovila tudi Stancioiu in O'Hara (2006a). V njihovi raziskavi je bila odvisnost veliko močnejša, saj je verjetnost pojavljanja plagiotropne rasti iz 0,9 pri minimalni svetlobi padla skoraj na 0 pri vrednostih okoli 30 % relativne svetlobe.

Naša raziskava je tako kot v primeru metlaste tudi v primeru plagiotropne razrasti pokazala močno značilne odvisnosti med pojavljanjem obeh tipov razrasti in svetlobo, vendar relativno položna krivulja verjetnosti pojavljanja brez izrazitega prevoja kaže, da odvisnost ni močno izražena. Tako ne moremo govoriti o nekih mejnih vrednostih svetlobe, pri katerih se verjetnost pojavljanja posamezne neugodne oblike razrasti še

posebej močno poveča, kot so to ugotovili drugi avtorji (Stancioiu in O'Hara, 2006a). V naši raziskavi lahko govorimo le o splošnih zakonitostih oz. širšem intervalu, ko verjetnosti pojavljanja neugodnih oblik razrasti presežejo, določeno z naše strani, postavljeno mejo. Predpostavljamo lahko, da je glavni razlog za take razlike dejstvo, da na razrast vplivajo tudi drugi dejavniki, ki jih v naši raziskavi nismo obravnavali, in pa to, da naša analiza ni bila narejena na celotnem intervalu relativne svetlobe, saj izmerjene vrednosti relativne svetlobe praviloma niso presegale 40 %. Dejstvo je, da v dinarskih jelovo-bukovih pragozdnih in prebiralnih gospodarskih sestojih v Sloveniji večjih vrednosti svetlobe ni mogoče najti, saj smo v naši analizi obravnavali vse največje vrzeli, ki so bile v času raziskave prisotne. Za bolj celovito presojo vpliva svetlobe na razrast osebkov bukve bo v prihodnje zato potrebno razširiti raziskave tudi na druga rastišča in sestoe, kjer bo interval svetlobnih razmer večji oz. popoln.

Primerjava rezultatov študij vpliva svetlobe na pojavljanje določenega tipa razrasti je upravičena, ko gre za iste ali podobne rastiščne razmere in tudi višine preučevanega mladja. Raziskave, ki smo jih predstavili, so bile vse opravljene v bukovih gozdovih, vendar pa je interval višin med 0,05 in 4 m, s srednjo vrednostjo 0,8 m, in to je lahko poleg svetlobe vsaj deloma vir razlik med rezultati raziskav. Vse raziskave, ki smo jih za primerjavo uporabili v naših analizah, so proučevale osebkke bukve znotraj omenjenega višinskega intervala in v večini primerov so bile povprečne višine med 0,5 in 2 m, kar pomeni dobro primerljivost z rezultati naše raziskave.

Vse naše analize so bile narejene posebej za razpršeno in direktno svetlobo, ker smo hoteli ugotoviti, ali katera komponenta svetlobe pomembnejše vpliva na proučevane dejavnike predvsem zaradi dejstva, da sta obe komponenti svetlobe v vrzeli različno prostorsko locirani. Izkazalo se je, da so pri raziskavah razrasti odzivi spremenljivk na eno ali drugo vrsto svetlobe zelo podobni, in da v tem primeru mogoče ni smiselno ločeno obravnavanje obeh tipov svetlob. Do neke mere je bil tak rezultat pričakovan, saj obe svetlobi korelirata. Analiza opisne spremenljivke sestavljene iz obeh tipov svetlob je sicer pokazala značilen vpliv kombinacij obeh svetlob na pojavljanje tako metlaste kot tudi plagiotropne razrasti, vendar so imele značilno različne verjetnosti za

pojavljanje samo ekstremne kombinacije obeh tipov svetlob, ko sta obe komponenti svetlobe imeli velike ali pa majhne vrednosti (razreda B in C).

6.6 SKLEPI

Glede na postavljene hipoteze in rezultate naše raziskave smo oblikovali naslednje sklepe:

V malih vrzelih, s površino nezast rtega dela manjšo kot 500 m^2 , in lokacijah pod zastorom brez prisotnosti vrzeli, ni značilnih razlik v svetlobnih razmerah, če primerjamo pragozd in gospodarski gozd. Kljub temu so srednje vrednosti in intervali relativne svetlobe v gospodarskem gozdu večji. Analiza svetlobnih razmer v velikih vrzelih, s površino nezast rtega dela večjo kot 500 m^2 , je pokazala značilno več relativne svetlobe v gospodarskem gozdu z razlikami v medianah 6,2 % za razpršeno in 3,6 % za direktno svetlobo. Razlike so verjetno posledica različnih ukrepov, ki jih v gospodarskem gozdu izvajamo zaradi gospodarjenja. Ukrepi spreminjajo zastrtost sklepa ter vertikalno in horizontalno strukturo sestojev. Relativno podobnost svetlobnih razmer v pragozdu in gospodarskem gozdu lahko pripišemo dejstvu, da v okolici raziskovalnih ploskev v gospodarskem gozdu gospodarijo prebiralno. Prebiralni gojitveni sistem, še posebej če gre za drevesno prebiranje, ustvarja sestojne strukture podobne tistim, ki jih najdemo v naravnem gozdu, kar močno vpliva tudi na splošne svetlobne razmere. Teh ugotovitev ne moremo posploševati, tako da v naši raziskavi sklepi veljajo le za prebiralno, skupinsko prebiralno in nekatere malopovršinsko skupinsko postopno gospodarjene sestojne dinarskih jelovo-bukovih gozdov, kjer vrednosti tako direktne kot razpršene relativne svetlobe praviloma ne presegajo 50 %.

Svetlobne razmere v plasti mladovja se razlikujejo glede na to, kako velika je vrzel. Večje vrzeli omogočajo sončnemu sevanju, da nerazpršeno prodira do tal na večji površini in dalj časa, kar povečuje relativne deleže direktne svetlobe, obenem pa večja površina nezast rtega neba pomeni večji delež razpršenega sevanja. V naši raziskavi je približno trikratno povečanje površine vrzeli povzročilo približno dvakratno povečanje povprečnih maksimalnih (FDIR 12,6 – 30 %; FDIF 12,5- 24,6 %) in povprečnih

srednjih (FDIR 5,2 – 11,1 %; FDIF 6,9 -13,7 %) vrednosti relativne direktne in tudi razpršene svetlobe. Pravilo velja tako za lokacije v vrzeli, kot tudi za tiste v okolici vrzeli pod zastorom, ki so bile od roba vrzeli oddaljene maksimalno 15 metrov. Minimalne vrednosti relativne svetlobe so bile v vseh primerih enake in so dosegale vrednosti pod 1 % pri direktni in okoli 3 % pri razpršeni svetlobi. Poleg velikosti na količino svetlobe v vrzeli vpliva tudi oblika vrzeli. V vrzelih bolj pestrih oblik so maksimalne vrednosti in intervali obeh tipov svetlobe manjši. Vsi odnosi med velikostjo in obliko vrzeli ter količino svetlobe so relativno ohlapni, saj na svetlobo v vrzeli vplivajo tudi drugi dejavniki, kot so smer glavne osi vrzeli, horizontalna in vertikalna struktura okoliškega sestoja, bližina sosednje vrzeli, nagib in orientacija pobočja in podobno.

Lokacija v sestojni vrzeli značilno vpliva na vrednosti relativne direktne in razpršene svetlobe. Prostorska razporeditev obeh tipov svetlobe se razlikuje. Maksimalne vrednosti direktne svetlobe so v naših geografskih širinah vedno na severnem delu vrzeli ali celo pod zastorom. Vrednosti se potem postopoma zmanjšujejo proti jugu vrzeli, medtem ko je padanje v smeri proti severu bolj intenzivno. Razpršena svetloba je bolj odvisna od robov vrzeli. Maksimalne vrednosti vedno najdemo na sredini vrzeli, zmanjševanje pa je simetrično v vse smeri proti robovom vrzeli. Opisane zakonitosti so nekoliko bolj opazne pri enostavnih oblikah vrzeli, vendar veljajo tudi v primerih, ko so oblike vrzeli izrazito nepravilne. Nepravilnost oblik vrzeli je večja v pragozdu, kjer so tudi svetlobne razmere znotraj vrzeli bolj prostorsko pestre. V vsaki vrzeli tako lahko glede na lokacijo v grobem definiramo, kakšna je kombinacija direktne in razpršene svetlobe.

Pri majhnih vrednostih relativne svetlobe je krošnja krajša, prirastki so manjši, osebki bukovega mladovja pa težijo k lateralni rasti. Vrednosti relativne svetlobe na lokacijah, kjer smo opazili plagiotropne osebke, so bile v povprečju manjše od 5 %, kar velja tako za direktno, kot tudi za razpršeno svetlobo. Verjetnost pojavljanja plagiotropnega osebka se značilno zmanjšuje s povečevanjem vrednosti relativne direktne in razpršene svetlobe in pade pod 0,2 pri vrednostih svetlobe nad 45 %.

Pojavljanje metlastih osebkov bukovega mladovja je odvisno od svetlobnih razmer. Delež osebkov z metlasto razrastjo glavnega poganjka se povečuje s povečevanjem svetlobe. Verjetnost pojavljanja metlastega osebka je pod 0,1 pri vrednostih okoli 5 % relativne svetlobe, potem pa narašča in dosega največje vrednosti pri svetlobi nad 40 %. Pojav je prisoten v pragozdu in gospodarskem gozdu in je posledica ekstremnejše klime v večjih vrzelih, zaradi katere glavni poganjki bolj pogosto odmrejo, dobre svetlobne razmere pa omogočajo razvoj večjega števila enakovrednih poganjkov. Takšnih ugotovitev za rogovilasto razrast nismo potrdili, saj ni bilo razlik v svetlobnih razmerah med lokacijami, kjer so bili prisotni enoosni ali rogovilasti osebki.

Različne kombinacije obeh tipov svetlobe značilno vplivajo na verjetnost pojavljanja metlastega glavnega poganjka, ki je najmanjša v primeru majhnih vrednosti in največja pri velikih vrednostih direktne in razpršene svetlobe. Tudi v primeru plagiotropne razrasti so značilno različne verjetnosti samo za ekstremne kombinacije obeh tipov svetlob, ko imata obe komponenti svetlobe velike (majhna verjetnost pojavljanja plagiotropnega osebka) ali pa majhne (velika verjetnost pojavljanja plagiotropnega osebka) vrednosti. Kombinaciji velikih in majhnih vrednosti obeh tipov svetlobe nista značilno različno vplivali na pojavljanje metlastih ali plagiotropnih osebkov. V tem primeru razmerje obeh tipov svetlobe ne daje dodatnih informacij o verjetnosti pojavljanja proučevanih tipov razrasti osebkov bukovega mladovja.

6.7 NEKATERI RAZMISLEKI O VKLJUČEVANJU REZULTATOV RAZISKAVE V PRAKSO GOJENJA GOZDOV

Na podlagi rezultatov raziskave lahko navedemo nekaj podatkov, ki bodo koristni pri oblikovanju smernic za pomlajevanje v dinarskih gozdovih jelke in buke:

- Izrazito majhne (pod 5 %) kot tudi prevelike (nad 40 %) vrednosti relativne svetlobe povečujejo verjetnost neugodne razrasti osebkov bukovega mladovja, zato je pri dodajanju svetlobe v sestojih v pomlajevanju treba iskati kompromis glede velikosti vrzeli.
- Svetlobne razmere v sestojni vrzeli so odvisne od njene velikosti in oblike, zato s pomočjo sečnje lahko vplivamo na razrast bukovega mladovja.

- V dinarskih gozdovih jelke in bukve, kjer uporabljamo prebiralni ali skupinsko postopni gojitveni sistem, so optimalne velikosti vrzeli za doseganje dovolj velikega števila bukovih osebkov primerne razrasti v intervalu med 500 in 1200 m².
- Tudi manjše vrzeli, ki nastanejo pri drevesnem prebiralnem gospodarjenju (okoli 100 m²) niso problematične, če trajanje zastrtosti ni predolgo (max. 5 - 7 let) in se sestoji normalno naravno pomlajujejo z gostotami okoli 50 000 osebkov na ha. V takem primeru moramo več pozornosti nameniti kvalitetnim osebkom in jih v naslednjih gojitvenih ukrepih postopno sproščati.
- Oblikovanje vrzeli in njihovo širjenje naj bo postopno, saj nenadne spremembe svetlobnih razmer povečujejo verjetnost pojavljanja neugodne razrasti osebkov bukovega mladovja.
- Začetek pomlajevanja bukve je smiselno izvajati pod zastorom zaradi drugih ugodnih vplivov (predvsem zaščita pomladka), ki jih zastor na mladje ima. Sencozdržnost bukve je relativno velika, vendar lahko to potrdimo le za fazo mladovja (do nekako 4 m višine osebkov), kar smo proučevali v naši raziskavi. Ko bukev prehaja v starejše faze razvoja z višinami preko 4 m, pa verjetno prilagoditve razrasti, ki v mlajših fazah omogočajo preživetje rastline, niso več dovolj in potrebe po svetlobi se povečujejo.
- Svetloba je izredno pomemben dejavnik pri oblikovanju razrasti osebkov bukovega mladovja, vendar pa moramo biti pri tovrstnih raziskavah previdni predvsem zaradi dveh dejstev, in sicer: (i) svetloba ni edini dejavnik, ki močno vpliva na razrast in (ii) poleg trenutnih svetlobnih razmer je za razrast pomembna tudi dinamika sprememb svetlobe na lokacijah, kjer izvajamo raziskavo. Zaradi tega je pri uvajanju izsledkov teh raziskav v prakso gojenja in pomlajevanja gozdov pomembno upoštevati vse informacije o preteklem dogajanju v obravnavanem sestoji (gozdnogojitveni načrti, revirni gozdarji) in jih v kombinaciji z izsledki raziskav smotrno vključiti v oblikovanje relativno prostorsko ozko omejenih smernic.

7 POVZETEK

Procesi menjave generacij drevja v dinarskih gozdovih jelke in bukve potekajo na izrazito majhnih površinah in v skromnih svetlobnih razmerah, zato je pomlajevanje bukve pri obnovi sestojev najbolj uspešno pri malopovršinskem gospodarjenju. Raziskave in izkušnje iz gospodarskega gozda kažejo na slabše kakovostne zasnove mladovja, ki raste pod zastorom v senčnih legah, zato je tehnična vrednost bukovega lesa, ki prihaja iz malopovršinskih gojitvenih sistemov, kot je npr. prebiralno gospodarjenje, slabša. Predpogoj za kakovostno bukovino je ustrezen razvoj drevesa v mladostni fazi, saj takrat nastaja spodnji, najvrednejši del debla. Ta razvoj je predvidoma mogoče usmerjati z uravnavanjem svetlobe s pomočjo gojitvenih ukrepov. Namen naše raziskave je bil ugotoviti, kako svetlobne razmere kot posledica načina gospodarjenja z gozdom vplivajo na razrast in s tem na kvaliteto bukovega mladovja.

Objekti raziskave se nahajajo na jugovzhodnem delu Slovenije in sicer na območju novomeškega in kočevskega Roga in obsegajo rastišča gorskih jelovo-bukovih gozdov. Najpomembnejši in v lesni zalogi prevladujoči drevesni vrsti v teh gozdovih sta bela jelka in navadna bukev. Jelka se v pomladku pojavlja individualno, medtem ko je pomlajevanje bukve bujno in množično, kar je mogoče opaziti predvsem v zadnjih treh desetletjih po velikih spremembah v deležih razvojnih faz. Raziskava je potekala v pragozdnem rezervatu Rajhenavski Rog in gospodarskih sestojih, ki ležijo v gospodarski enoti (GE) Rog in spadajo pod gozdnogospodarsko območje (GGO) Kočevje. Del raziskovalnih ploskev se nahaja tudi v GE Črmošnjice v GGO Novo mesto.

Na opisanih lokacijah smo v letu 2000 izbrali 13 vrzeli, za namene kontrole pa še dve lokaciji pod zastorom. Vrzeli smo definirali kot odprtino v sklepu krošenj odraslega sestoja, v kateri je vegetacija nižja od polovice višine okoliškega sestoja. V pragozdnem rezervatu Rajhenavski Rog smo izbrali 6 vrzeli in eno lokacijo pod zastorom, v okolici rezervata v gospodarskem gozdu in na istih rastiščnih razmerah v gozdnogospodarskih enotah Rog in Črmošnjice pa še 5 vrzeli in eno lokacijo pod zastorom. V raziskavo smo vključili največje vrzeli, ki se pojavljajo v pragozdu in gospodarskem gozdu in njim

rastiščno in sestojno primerljive male vrzeli s površino, ki ni manjša kot 200 m². V vsaki vrzeli smo na sistematični mreži (5x5 m), orientirani v glavnih smereh neba, zakoličili več 2,25 m² velikih kvadratnih ploskev (1,5x1,5 m). V raziskavi smo uporabili 531 tako postavljenih ploskev. Mrežo smo v povprečju za 5 m razširili tudi v okolico vrzeli pod zastor. Na vsaki raziskovalni ploskvi smo merili in ocenjevali naslednje parametre: zastiranje tal v deležih mladovja, zelišč, mrtvega lesa, nezastrtih tal, kamenja, opada in ostalega; pokrovnost glavnih drevesnih vrst v deležih; gostoto klic in starejših osebkov mladovja po drevesnih vrstah; 5 dominantnim osebkom bukovega mladovja na ploskvi smo izmerili dolžino stegnjenega osebk, dolžinski prirastek glavnega poganjka v zadnjem letu, premer na koreninskem vratu, obliko razrasti terminalnega poganjka (enoosen, rogovilast ali metlast) in obliko razrasti celotnega osebk bukovega mladovja (enoosen raven, deformacija stebela ali plagiotropen). Na manjšem številu ploskev smo merili tudi: prisotnost kresnega poganjka, dolžino terminalnega brsta glavnega poganjka, dolžino žive krošnje, višino osebk, maksimalni premer krošnje in največji premer krošnje v pravokotni smeri glede na maksimalni premer krošnje. Za ocenjevanje relativne razpršene in direktne svetlobe smo uporabili klasični fotoaparati znamke Nikon F50 z objektivom Sigma 8 mm, f/4 ribje oko. Objektiv smo pred uporabo kalibrirali. Uporabili smo Ilford PAN 400 črno beli film (ISO 400). Del meritev svetlobe smo opravili z digitalnim fotoaparatom znamke Nikon, model Coolpix 995 v kombinaciji s kalibriranim objektivom ribje oko. Snemali smo s pomočjo fotografskega stojala z nastavitvijo znatosti fotoaparata na ISO 400. Fotografije smo obdelali s programskim orodjem WinScanopy 2003 pro-b.

Analiza svetlobnih razmer ni pokazala razlik med pragozdom in gospodarskim gozdom ko smo primerjali vrednosti relativne svetlobe v malih vrzelih in pod zastorom. Značilne razlike smo ugotovili le za vrzeli, večje od 500 m². Kljub v povprečju večjim vrzelim v pragozdu smo v gospodarskem gozdu v velikih vrzelih izmerili več razpršene in direktne svetlobe, kar je posledica gozdnogospodarskih ukrepov v teh gozdovih. Vrednosti median so v vseh primerih relativno majhne, saj najvišja mediana ni presegla 16,9 %. V malih vrzelih so bile mediane pod 7 %, pod zastorom pa so bile v intervalu 2,7 – 3,6 %, kar je blizu minimuma, ki omogoča normalen razvoj pomladka. Kljub

dejstvu, da so bile izmerjene minimalne vrednosti svetlobe tudi pod 1 %, smo na vseh ploskvah pod zastorom zabeležili prisotnost bukovega pomladka.

Ugotovili smo močno pozitivno odvisnost med velikostjo vrzeli in svetlobo, kar pomeni dobre možnosti za usmerjanje razvoja mladovja z relativno preprostimi gojitvenimi ukrepi. Obenem je velikost vrzeli relativno enostavno vključevati in interpretirati v operativnih smernicah za gojitveno ukrepanje.

Čeprav je analiza svetlobnih razmer pokazala večje intervale vrednosti v gospodarskem gozdu, smo z analizo prostorske razporeditve svetlobe ugotovili večjo prostorsko pestrost svetlobnih razmer v pragozdu. V pragozdu so sestojne vrzeli posledica naravnih motenj in so zato razporejene po celotni površini gozda, obenem pa nastajajo nenehno. Njihova prisotnost fragmentira svetlobne razmere na razdaljah, ki so veliko manjše od tistih v gospodarskem gozdu.

Na vseh raziskovalnih ploskvah, ne glede na to ali je šlo za pragozd ali gospodarski gozd, smo prisotnost kresnih poganjkov ugotovili le pri nekaj osebkih. To pomeni, da v takih svetlobnih razmerah (FDIR 1,0 – 25,6 %; FDIF 2,4 – 21,1 %) kresni poganjki nepomembno vplivajo na rast in razrast osebkov bukovega mladovja. Ugotovili smo, da svetloba značilno pozitivno vpliva na dolžino krošnje (DK), negativno pa na razmerje med širino in dolžino krošnje (RSD), ki nakazuje ploščatost krošnje. Krošnja je bila krajša od polovice višine osebkov bukve le pri 9 % vseh drevesc, ki so vsa rasla v razmerah majhne osvetlitve z vrednostmi relativne svetlobe pod 5 %, kar kaže na dobro prenašanje stresa ob majhnih vrednostih svetlobe. Odvisnost DK in RSD od svetlobe je bila slabo izražena, kar kaže na pomemben vpliv zunanjih razmer, predvsem gostote mladja in konkurence, ter genotipa na obliko krošnje.

V naši raziskavi nas je zanimalo predvsem kako svetloba vpliva na tiste oblike razrasti glavnega poganjka, ki so z vidika kvalitete najbolj neugodne. V primeru glavnega poganjka sta to rogovilasta in metlasta razrast, ki lahko pri nadaljnji enakovredni rasti glavnih poganjkov zmanjšujeta vrednost bodočih bukovih sestojev. Rezultati analize vpliva svetlobe na razrast kažejo, da ima svetloba pomembno vlogo pri oblikovanju

krošnje in habitusa osebkov bukovega mladovja. Delež osebkov z metlasto razrastjo glavnega poganjka se povečuje s povečevanjem svetlobe. Verjetnost pojavljanja metlastega osebka je pod 0,1 pri vrednostih okoli 5 % relativne svetlobe, potem pa narašča in dosega največje vrednosti pri svetlobi nad 40 %. Pojav je prisoten v pragozdu in gospodarskem gozdu in je posledica ekstremnejše klime v večjih vrzelih, zaradi katere glavni poganjki bolj pogosto odmrejo, dobre svetlobne razmere pa omogočajo razvoj večjega števila enakovrednih poganjkov. Takih ugotovitev za rogovilasto razrast nismo potrdili, saj ni bilo razlik v svetlobnih razmerah med lokacijami, kjer so bili enoosni ali rogovilasti osebki. Na pojavljanje rogovile ali metle domnevno vpliva tudi gostota mladovja, pri čemer manjše gostote pomenijo manj konkurence za prostor s strani, kar omogoča vsem lateralnim poganjkom relativno enakovredne razmere. Tudi v naši raziskavi je bila gostota osebkov bukovega mladovja najmanjša za metlaste osebke, medtem ko so bile gostote za enoosne in rogovilaste osebke podobne.

Ko govorimo o razrasti celotnega osebka bukovega mladovja, je plagiotropna oblika razrasti tista, ki je najbolj nezaželena. V naši raziskavi plagiotropnih osebkov v vrzeli ni bilo veliko, medtem ko jih je bilo nekajkrat več pod zastorom v okolici vrzeli, še več pa pod sklenjenim zastorom. Razlog so manjše vrednosti relativne svetlobe in posledično aktiviranje mehanizmov povečevanja tlora krošnje in s tem preživetja rastline. Pri majhnih vrednostih relativne svetlobe je krošnja krajša, prirastki so manjši, osebki bukovega mladovja pa težijo k lateralni rasti. Vrednosti relativne svetlobe na lokacijah, kjer smo opazili plagiotropne osebke, so bile v povprečju manjše od 5 %, kar velja tako za direktno, kot tudi za razpršeno svetlobo. Verjetnost pojavljanja plagiotropnega osebka se značilno zmanjšuje s povečevanjem vrednosti relativne direktne in razpršene svetlobe in pade pod 0,2 pri vrednostih svetlobe nad 45 %.

Glede na rezultate naše raziskave lahko potrdimo domnevo, da v pojavljanju posameznih tipov razrasti glavnega poganjka in celotnih osebkov bukovega mladovja ni razlik med gospodarskim gozdom in pragozdom. V obeh primerih je okoli 40 % vseh osebkov imelo neugodno razrast, kar, ob zadostni gostoti in predpostavki, da ni drugih izrazitih neugodnih dejavnikov, ki bi povečevali smrtnost osebkov bukovega mladovja, ne pomeni izrazitega problema pri negi mlajših razvojnih faz.

8 SUMMARY

Forest managers and ecologists have long realized that light not only influences recruitment patterns in forest stands, but also the qualitative development of forest trees. Variation in understory light levels may cause substantial differences in seedling and sapling architecture. For example, research on European Beech (*Fagus sylvatica* L.) demonstrated that shade caused a higher proportion of undesirable growth patterns, such as plagiotropic, broom shaped, and forked shoots, as well as different stem disqualifications in areas with a denser canopy. Beech is reported to be a tree species with weak apical dominance, which explains its tendency to develop a plagiotropic growth pattern in low light environments. To survive in poor light conditions, young trees need to adapt their crown shape to receive as much radiation and growing space as possible. Lower light levels also influence the growth rates of young beech trees, which results in reduced height and volume growth, a lower number of leaves, a lower leaf area index, and reduced bud development. This research was performed in a managed and old-growth Dinaric beech-fir forest which were never clearcut and have been tended with different selection systems for more than 100 years. As a result of this management regime, the forests maintained their natural structure and composition. However, the quality of beech wood in Dinaric beech-fir forest is lower compared to the quality found in other European beech forests. Timber quality is influenced by many factors, which may also include processes during early stand development. In this study, the effects of varying light conditions resulting from different management regimes on the growth and morphology of beech seedlings in an old-growth and managed beech-fir forest in Slovenia were analyzed. The main objectives were (i) to quantify light conditions in the regeneration layer of an old-growth and selectively managed beech-fir forest, (ii) to evaluate the impact of received radiation on branching patterns of young beech trees, and (iii) to characterize the possibilities of forest managers to control the future development of beech regeneration.

We conducted the study in the Rajhenavski Rog forest reserve, an old-growth beech-fir dominated stand, and adjacent managed stands in the Dinaric mountain region located in the south-eastern part of Slovenia. The elevation of the research sites ranges between 740-900 m and the average annual temperature between 6°C and 8°C. The total annual

precipitation varies between 1500-2000 mm and is equally distributed over the year. Beech (*Fagus sylvatica* L.) (70% of standing volume) and silver fir (*Abies alba* Mill.) (30% of standing volume) are dominant, but other species, such as sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.), wych elm (*Ulmus glabra* Huds.), Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten), common ash (*Fraxinus excelsior* L.), and large-leaved lime (*Tilia platyphyllos* Scop.) occur infrequently. The soils are different types of calco-cambisol originating from limestone parent material. Because of the highly dissolvable limestone on the sites, soils are well drained, different types of karst phenomenon occur (sinkholes, surface rocks, skeletal soil, etc.), soil depth is diverse, and so is the macro- and microtopography, which all strongly influence microsite conditions.

Between 2001-2002 we sampled 6 gaps, including the three largest gaps, and one location under the canopy in the Rajhenavski Rog old-growth forest and 5 gaps and one location under the canopy in surrounding managed forests. We defined a gap as a canopy opening where regeneration under the opening was less than half the height of the surrounding canopy. Most of the regeneration in the gaps was lower than 1,3 m, suggesting most gaps were young. Inside the gaps and under the canopy in the area surrounding the gaps, we set up a 5x5 m grid for defining the plot locations. In this way, we established 531 square plots 2.25 m² in size. On all of the plots we measured coverage of woody regeneration, ground vegetation, coarse woody debris, leaf litter, rocks and coverage separately of each tree species. The density and species composition of the regeneration was measured. The five tallest dominant beech individuals on each plot, which were not damaged by browsing, were examined for growth pattern assessment using a simple branching system methodology. Individuals were scored for branching of the beech seedling top and branching of the whole seedling. We categorized top branching as either orthotropic, forked, or broom shaped. The categories for the whole seedling branching pattern were orthotropic, non-orthotropic, and plagiotropic. A smaller sample was used for measurements of the lammas shoot, length of terminal bud, crown dimensions, crown length and the height of young beech trees. Relative (%) diffuse (FDIF) and direct (FDIR) radiation were estimated from digital and film hemispherical photographs. All hemispherical photographs were taken in completely overcast sky conditions close to dawn or dusk to avoid direct radiation.

Our study detected no major differences in light conditions between old-growth and managed beech-fir forest in small gaps and under the canopy. We expected lower light levels in the old-growth stand since small-scale gaps are the primary disturbance process in these forests, although intermediate severity windstorms occasionally open larger parts of the canopy. Higher light levels were expected in the managed forests, where a particular wood volume is extracted on a regular basis. The stands surrounding the Rajhenavski Rog old-growth forest reserve are managed with a single tree selection system, which is very small-scale and provides light conditions similar to that in old-growth stands. It was only in the large gap size-class that we found significantly higher levels of FDIR and FDIF in managed forests, despite the fact that gaps in the old-growth forest were the largest in the study. Regardless of similar average values, the variability of light regimes was higher in managed forest, which can be attributed to certain management activities, such as thinned stands at gap borders, regeneration activities, the presence of transportation systems, and less diverse gap shapes in the managed forest.

We confirmed the influence of gap size on the average light conditions in a gap. As expected, gaps above 500 m² showed the highest levels of relative diffuse and direct radiation. At the same time, large gap sizes also increase the range of light conditions, providing more variable site conditions. This may correspond to increased recruitment potential for some tree species in the regeneration layer and subsequently more options for the managers to control future stand development. However, not only the size, but other gap features such as gap shape, are very important in defining the spatial distribution of basic ecological factors, and must therefore be taken into account when developing management guidelines.

Lammas growth was detected only in few cases, which indicates low importance of this growth for the development of young beech trees. This is due to the low levels of light measured in the study (FDIR 1,0 – 25,6%; FDIF 2,4 – 21,1%). Increasing light proved to have a positive effect on crown length (DK) and a negative effect on the width to length ratio of the crown. Only in 9% of trees was the crown smaller than half of the

length of the tree. All were growing in light conditions with less than 5% of relative radiation, which indicates the high shade tolerance of beech.

This study suggests there are no major differences between the old-growth and the managed forest in light conditions typical for the development of particular seedling top branching types. Forked tops were found in all light conditions and there were no large differences in received radiation for trees with orthotropic and forked tops. However, trees with broom shaped tops received significantly (two times) higher values of both radiation components, ensuring enough light for the development of three or more equally strong leader shoots.

We found that higher values of radiation increased the probability of appearance of broom shaped top branching. The probability was around 0,1 at 5% of relative radiation and increased to 0,7 in light conditions with 40% of relative radiation. Spatially explicit higher levels of radiation, such as in the centre (FDIF) and north-centre (FDIR) part of the gaps created more extreme microclimates within gaps, which is in most cases the reason for the growth of more equally strong leader shoots in beech seedlings. The higher proportion of seedlings with forked tops in deep shade reported by some authors was not detected in our study, which suggests that mechanisms that control forked and broom shaped branching of beech seedling tops were different in this study.

We found similar variation in FDIR and FDIF for individuals with different branching of the whole seedling (e.g. orthotropic, non-orthotropic, and plagiotropic). Orthotropic seedlings received the highest and plagiotropic the lowest values of both radiation components. The probability of plagiotropic seedling branching decreased with increasing radiation and was below 0,2 at about 45% of relative diffuse (FDIF) and also direct (DIR) radiation. The relationship was not as strong as reported by other authors, which is due to a smaller range of light conditions used in our study.

This study confirms the assumption that light conditions influence architectural development of young beech trees in the regeneration layer. Increasing light significantly increases the probability of broom shaped top branching of beech

seedlings, but at the same time decreases the probability of plagiotropic growth. This indicates there are strong possibilities for forest managers to direct regeneration towards improved architectural characteristics by regulating solar radiation reaching the understory and regeneration layer. Our study implies that an extremely low and high radiation environment should be avoided when promoting the development of high quality regeneration in Dinaric beech-fir forests. Growing conditions at the time of early development of beech trees are important for future quality of beech timber, since the most economically valuable part of a tree is formed during this period. According to our research, selective management results in regeneration conditions which are similar to those in an old-growth forest, especially in terms of light conditions and a high proportion of beech seedlings with undesirable branching patterns. However, to which extent the architectural characteristics of regeneration influence the eventual wood quality of the stand is unknown, since only a small portion of the analyzed trees will eventually recruit to the canopy. In our study, the density of beech regeneration in managed forest was a bit less than 50 000 per hectare, and the proportion of seedlings with a desirable seedling branching type was close to 20%, resulting in around 10 000 high quality trees in the regeneration layer, which should be enough for normal development of a high-quality stand. With this in mind, we can say that selective management in beech-fir forests, if practiced intensively and with special care for young beech trees with desirable architecture, can provide good economical results and high quality beech timber.

This study took place in an old-growth stand with a small-scale disturbance regime and in a selection managed forest with an average gap size of 500 m² and a maximum area of 1 200 m². The radiation levels reaching the understory in such conditions are relatively low. The average values for both relative radiation components were around 10%, with a maximum not exceeding 45%. Future research would benefit from a focus on beech stands where larger-scale silvicultural systems are used and the radiation range is greater, as well as on older beech stands including young and old pole stands where future wood quality is much more evident.

9 VIRI

- Acceto M. 2001. Opis pomembnejših gozdnih združb v Sloveniji - gradivo za pouk fitocenologije. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 64 str.
- Anderson M.C. 1964. Studies of the woodland light climate: I. The photographic computation of light conditions. *Journal of Ecology*, 52: 27-41
- Anderson M.C. 1971. Radiation and crop structure. V: Plant photosynthesis production. Manual of methods. Z. Sestak (Ur.). Junk, Hague, Netherlands: 412-466.
- Atlas Slovenije 2005. Topografski zemljevidi in mestni načrti. Geodetski zavod Slovenije. Mladinska knjiga: 487 str.
- Attwill M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management*, 63: 247-300
- Barnes B.V., Zak D.R., Denton S.R., Spurr, S.H. 1998. *Forest Ecology*. New York, John Wiley & Sons: 774 str.
- Beaudet M., Messier C. 1998. Growth and morphological responses of yellow birch, sugar maple, and beech seedlings growing under a natural light gradient. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 28: 1007-1015
- Beguš J. 1999. Program razvoja gozdov v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 58 str.
- Benak V. 1888. Upliv svetla na rast drveča. *Šumarski list*, 12: 10-14
- Bitorajc Z., Tanko B. 2004 Vpliv svetlobnih razmer na razrast bukovih gošč v podgorskih bukovih gozdovih : diplomsko delo - univerzitetni študij, (Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 84 str.
- Bolvanský M. 1980. Niektoré príčiny vidlicovitosti kmena mladých bukových jedincov v rastovej fáze húštin. *Acta Dendro-biologica*, 81: 199-245
- Boncina A., Diaci J., Cencic L. 2002. Comparison of the two main types of selection forests in Slovenia: distribution, site conditions, stand structure, regeneration and management. *Forestry*, 75: 365-373
- Bončina A., Diaci J., Gašperšič F. 2003. Long-term changes in tree species composition in the Dinaric mountain forests of Slovenia. *The Forestry Chronicle*, 79: 227-232

- Brinar M. 1969. Vpliv svetlobe na razvoj bukovega mladja. Zbornik - Research reports, 7: 61-144
- Brown J. 1960. Ecological aspects of regeneration in British beechwoods. Bulletin de l'institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux: 75-92
- Brunner A. 2002 Manual: Hemispherical photography and image analysis with hemIMAGE and Adobe Photoshop (15-09-2002), Danish Forest and Landscape Research Institute, Copenhagen.
- Brus R. 2005. Dendrologija za gozdarje. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire - Biotehniška fakulteta: 408 str.
- Burschel P., Schmaltz J. 1965. Die Bedeutung des Lichtes für die Entwicklung junger Buchen. Allg. F. - u. J.-Ztg., 136: 193 - 210
- Caldwell M.M., Pearcy R.W. 1994. Exploitation of environmental heterogeneity by plants: ecophysiological process above- and below ground I. II. London, Academic Press Limited: 428 str.
- Canham C.D. 1988a. Growth and canopy architecture of shade-tolerant trees: response to canopy gaps. Ecology, 69: 786-795
- Canham C.D. 1988b. An Index for Understory Light Levels in and around Canopy Gaps. Ecology, 69: 1634-1638
- Canham C.D., Denslow J.S., Platt W.J., Runkle J.R., Spies T.A., White P.S. 1990. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. Can. J. For. Res., 20: 620-631
- Carlson D.W., Groot A. 1997. Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. Agricultural and Forest Meteorology, 87: 313-329
- Chadwick D.O., Bruce C.L. 1990. Forest stand dynamics. New York, John Wiley & Sons: 520 str.
- Cho M., Kawamura, K., Takeda, H. 2005. Sapling architecture and growth in the co-occurring species *Castanopsis cuspidata* and *Quercus glauca* in a secondary forest in western Japan. Journal of Forest Research, 10: 143-150
- Cimperšek M. 1988. Ekologija naravne obnove v subpanonskem bukovju. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 31: 121-184

- Coates K.D. 2002. Tree recruitment in gaps of various size, clearcuts and undisturbed mixed forest of interior British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management*, 155: 387-398
- Coates K.D., Burton P.J. 1997. A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management*, 99: 337-354
- Collet C., Lanter, O., Pardos M. 2001. Effects of canopy opening on height and diameter growth in naturally regenerated beech seedlings. *Annals of Forest Science*, 58: 127-134
- Collet C., Lanter O., Pardos M. 2002. Effects of canopy opening on the morphology and anatomy of naturally regenerated beech seedlings. *Trees - Structure and Function*, 16: 291-298
- Comeau P.G., Gendron F., Messier C. 1998. A comparison of several methods for estimating the light under a paper birch mixewood stand. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 1843-1850
- Delagrange S., Messier C., Lechowicz, M.J., Dizengremel P. 2004. Physiological, morphological and allocational plasticity in understory deciduous trees: importance of plant size and light availability. *Tree Physiology*, 24: 775-784
- Denslow J., Spies T. 1990. Canopy gaps in forest ecosystems: an introduction. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 619
- Diaci J. 1999a. Meritve sončnega sevanja v gozdu - I. presoja metod in instrumentov. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 58: 105-138
- Diaci J. 1999b. Meritve sončnega sevanja v gozdu - II. metode na osnovi projekcij hemisfere neba in krošenj. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 60: 177-210
- Diaci J. 2002. Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps. *Forest Ecology and Management*, 161: 27-38
- Diaci J., Kolar U. 2000. Usmerjanje objektiva "ribje oko" za fotografijo hemisfere. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 61: 5-25
- Diaci J., Kozjek L. 2005. Beech sapling architecture following small and medium gap disturbances in silver fir-beech old-growth forests in Slovenia. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 156: 481-486

- Diaci J., Kutnar L., Rupel M., Smolej I., Urbancic M., Kraigher H. 2000. Interactions of Ecological Factors and Natural Regeneration in an Altimontane Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Stsnd. Phyton (Austria) Special issue, 40: 17-26
- Diaci J., Pisek R., Boncina A. 2005. Regeneration in experimental gaps of subalpine *Picea abies* forest in the Slovenian Alps. European Journal of Forest Research, 124: 29-36
- Diaci J., Rozenberger D., Bončina A. 2003. Interactions of light and regeneration in Slovenian Dinaric Alps : patterns in virgin and managed forests. V: Natural forests in the temperate zone of Europe - values and utilisation. B. Commarmot (Ur.). Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute WSL; Rakhiv: Carpathian Biosphere Reserve, Mukachevo, Ukraine: 154-160.
- Emborg J. 1998. Understorey light conditions and regeneration with respect to the structural dynamics of a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. Forest Ecology and Management, 106: 83-95
- Eschrich W. 1981. Gehölze im Winter, Zweige und Knospen. Stuttgart, Jena, New York, Gustav Fischer Verlag: 137 str.
- Evans G.C., Coombe D.E. 1959. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. Journal of Ecology, 47: 103-113
- Fanta J. 1981. Fagus-Silvatica L and the Aceri-Fagetum on the Alpine Timberline in Central European Mountains. Vegetatio, 44: 13-24
- Frazer G.W., Fournier R.A., Trofymow J.A., Hall R.J. 2001. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. Agricultural and Forest Meteorology, 109: 249-263
- Galhidy L., Mihok B., Hagyo A., Rajkai K., Standovar T. 2006. Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understorey vegetation of a Hungarian beech forest. Plant Ecology, 183: 133-145
- Gendron F., Messier C., Comeau P.G. 1998. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. Agricultural and Forest Meteorology, 92: 55 - 70
- Givinish T.J. 1995. Plant Stems: Biomechanical Adaptation for Energy Capture and Influence on Species Distributions. V: Plant stems: Physiology and Functional Morphology. B.L. Gartner (Ur.). Academic Press, Inc., San Diego: 3-49.

- Hale S.E., Edwards C. 2002. Comparison of film and digital hemispherical photography across a wide range of canopy densities. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112: 51-56
- Halle F., Oldeman R.A.A., Tomlinson P.B. 1978. *Tropical Trees and Forests*. Berlin, Springer-Verlag: 441 str.
- Harley J., Waid J. 1955. The effect of light upon the roots of beech and its surface population. *Plant and Soil*, 7: 96-112
- Hladnik D., Skvarča L. 2006 Slovenija na satelitskih posnetkih Landsat ETM+ 189/28, 190/28, 191/28
- Holladay C.A., Kwit C., Collins B. 2006. Woody regeneration in and around aging southern bottomland hardwood forest gaps: Effects of herbivory and gap size. *Forest Ecology and Management*, 223: 218-225
- Inoue A., Yamamoto K., Mizoue N., Kawahara Y. 2004. Effects of image quality, size and camera type on forest light environment estimates using digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126: 89-97
- Jenko A. 2007. Vpliv svetlobnih razmer na razrast bukovih gošč v jelovo-bukovih gozdovih: diplomsko delo - univerzitetni študij. (Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 90 str.
- Jonckheere I., Fleck S., Nackaerts K., Muys B., Coppin P., Weiss M., Baret F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination - Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121: 19-35
- Kolar U. 2002 Operativni postopek snemanja svetlobe v gozdnih sestojih s pomočjo klasičnega fotoaparata in objektivna ribje oko (osebni vir, 2002)
- Kolar U. 2005 Skice vseh vrzeli z lokacijami raziskovalnih ploskev. Rezultati projekta NAT-MAN, digitalni vir.
- Konečnik K., Zaplotnik V. 2001 Pragozdni rezervat Strmec. diplomatska naloga, (Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 97 str.
- Kordiš F. 1993. Dinarski jelovo bukov gozdovi v Sloveniji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo: 139 str.
- Korpel 1982. Degree of Equilibrium and dynamical Changes of the Forest on Example of Natural Forests of Slovakia. *Acta facultatis forestalis*, 24: 9 - 31

- Korpel 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Stuttgart, Jena, New York, Gustav Fischer Verlag: 310 str.
- Kotar M. 1982. Redčenje z vidika prirastoslovja in donosnosti gozdov. Gozdarski vestnik, 40: 193-204
- Kozlowski T.T., Pallardy S.G. 1997. Growth control in woody plants. London, Academic Press: 641 str.
- Küppers M. 1989. Ecological significance of aboveground architectural patterns in woody plants: a question of cost-benefit relationships. Trends in Ecology & Evolution, 4: 375-379
- Kurth J. 1946. Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen. Mitt. d. Schweiz. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen,
- Larcher W. 1983 Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, München: 303 str.
- Lertzman K.P., Krebs C.J. 1991. Gap-Phase Structure of a Sub-Alpine Old-Growth Forest. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 21: 1730-1741
- Madsen P. 1994. Growth and survival of *Fagus sylvatica* seedlings in relation to light intensity and soil water content. Scandinavian Journal of Forest Research, 9: 316-322
- Marinček L. 1987. Bukovi gozdovi na Slovenskem. Ljubljana, Delavska enotnost: 153 str.
- Marinček L., Čarni A. 2002. Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije v merilu 1 : 400 000. Ljubljana, Založba ZRC, ZRC SAZU: 79 str.
- Messier C. Doucet R., Ruel J.C., Claveau Y., Kelly C., Lechowicz M.J. 1999. Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 29: 812-823
- Messier C., Nikinmaa E. 2000. Effects of light availability and sapling size on the growth, biomass allocation, and crown morphology of understory sugar maple, yellow birch, and beech. Ecoscience, 7: 345-356
- Meyer P., Guericke M., Hillebrand K. 1999. Eigendynamische und gesteuerte Waldentwicklung im Kalk - Buchenwald - Ein Vergleich des Naturwaldes

- Hünstollen und der Wuchsreihe Buche / Edellaubbäume im Forstamt Bovenden.
Forst und Holz, 54: 48 - 54
- Millet J., Bouchard A., Edelin C. 1998. Plagiotropic architectural development of four tree species of the temperate forest. Canadian Journal of Botany, 76: 2100-2118
- Minotta G., Pinzauti S. 1996. Effects of light and soil fertility on growth, leaf chlorophyll content and nutrient use efficiency of beech (*Fagus Sylvatica* L.) seedlings.
Forest Ecology and Management, 86: 61-71
- Mlinšek D. 1967. Pomlajevanje in nekatere razvojne značilnosti bukovega in jelovega mladja v pragozdu na Rogu. Zbornik BF, 15: 7-32
- Mlinšek D., Bakker A. 1990. Jugendwachstum und holzqualität bei der Buche. Forst-Wissenschaftliches Centralblatt, 109: 242-248
- Močilnikar H. 2006. Obnovitveni cikli pragozdnega ostanka Rajhenavski Rog, Univerza v Ljubljani, (Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 75 str.
- Morecroft M.D., Taylor M.E., Oliver H.R. 1998. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site. Agricultural and Forest Meteorology, 90: 141-156
- Mountford E. (Ur.), 2000. Natural Canopy Gap Characteristics in European Beech Forests, 23 str.
- Mountford E.P., Savill P.S., Bebb D.P. 2006. Patterns of regeneration and ground vegetation associated with canopy gaps in a managed beechwood in southern England. Forestry, 79: 389-408
- Nagel T.A., Diaci J. 2006. Intermediate wind disturbance in an old-growth beech-fir forest in southeastern Slovenia. Can. J. For. Res., 36: 629-638
- Nagel T.A., Svoboda M., Diaci J. 2006. Regeneration patterns after intermediate wind disturbance in an old-growth *Fagus-Abies* forest in southeastern Slovenia. Forest Ecology and Management, 226: 268-278
- Nakashizuka T. 1985. Diffused Light Conditions in Canopy Gaps in a Beech (*Fagus-Crenata* Blume) Forest. Oecologia, 66: 472-474
- Nicolini E. 1994. Influence of various architectural characteristics on the development of forked axis in *Fagus sylvatica* as function of canopy presence. Canadian Journal of Botany, 72: 1723-1734

- Nicolini E. 1998. Architecture and morphogenetic gradients in young forest-grown beeches (*Fagus sylvatica* L. *Fagaceae*). Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique, 76: 1232-1244
- Nicolini E. 2000. New observations on morphology of beech growth units (*Fagus sylvatica* L.) - Shoot symmetry, reflection of tree vigor. Canadian Journal of Botany, 78: 77-87
- Nicolini E., Caraglio Y. 1994. Influence of Various Architectural Characteristics on the Development of Forked Axis in *Fagus-Sylvatica* as Function of Canopy Presence. Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique, 72: 1723-1734
- Ponge J.F., Ferdy J.B. 1997. Growth of *Fagus sylvatica* saplings in an old-growth forest as affected by soil and light conditions. Journal of Vegetation Science, 8: 789-796
- Poulson L.T., Platt W.J. 1989. Gap light regimes influence canopy tree diversity. Ecology, 70: 553-555
- Pruša E. 1985. Die böhmischen und mährischen Urwälder - ihre Struktur und Ökologie. Praga, Verlag der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften: 578 str.
- Puncer I. 1980. Dinarski jelovo-bukovi gozdovi na Kočevskem. Razprave 22/6. Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti: 561 str.
- Ram B., Ramakrishnan P.S. 1982. Growth strategy of trees related to succesional status I. Architecture and extention growth. Forest Ecology and Management, 4: 359-374
- Raymond P., Munson A.D., Ruel J.C., Coates K.D. 2006. Spatial patterns of soil microclimate, light, regeneration, and growth within silvicultural gaps of mixed tolerant hardwood - white pine stands. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere, 36: 639-651
- Regent 2003. WinSCANOPY for hemispherical image analysis - Manual, Regent instruments inc.: 104 str.
- Ritter E., Dalsgaard L., Einhorn K.S. 2005. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. Forest Ecology and Management, 206: 15-33

- Ritter E., Vesterdal L. 2006. Gap formation in Danish beech (*Fagus sylvatica*) forests of low management intensity: soil moisture and nitrate in soil solution. European Journal of Forest Research, 125: 139-150
- Roloff A. 1987. Morphologie der Kronenentwicklung von *Fagus sylvatica* L. (Rotbuche) unter besonderer Berücksichtigung neuartiger Veränderungen. Flora, 179: 355-378
- Roloff A., Römer H.-P. 1989. Beziehungen zwischen Krone und Wurzel bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 160: 200-205
- Rozman J. 2007. Ekologija pomlajevanja drugotnega smrekovega gozda v visokogorskem vegetacijskem pasu Karavank - magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 145 str.
- Roženbergar D. 2000. Razvojne značilnosti sestojev v pragozdnih ostankih Pečka in Rajhenavski Rog. Gozdarski vestnik, 58: 53-55
- Runkle J.R. 1989. Synchrony of regeneration, gaps, and latitudinal differences in treespecies diversity. Ecology, 70: 546-547
- Runkle J.R. 1990. Gap dynamics in an Ohio Acer-Fagus forest and speculations on the geography of disturbance. Canadian Journal of Forest Research. 20: 632-641
- Sagheb Talebi K. 1995 Study of some characteristics of young beeches in the regeneration gaps of irregular shelterwood system (Femelschlag). V S.F. Madsen (Ur.), 5th Beech Symposium of the IUFRO Project Group P.1.10-00. Forskningscentret for Skov&Landskab, Mogenstrup, Denmark: 105-116.
- Sagheb Thalebi K. 1996. Quantitative und qualitative Merkmale von Buchenjungwuechsen (*Fagus sylvatica* L.) unter dem Einfluss des Lichtes und anderer Standortsfaktoren. Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift für Fortswesen, 78: 219
- Sagheb Thalebi K., Schütz J.P. 2001. The structure of natural oriental beech forersts in Caspian region and the application of group selection system. IUFRO-Symposium: Uneven-aged Silviculture: Tradition and Practices - List of Abstracts: 11-12

- Schütt P., Schuck H.J., Lang U.J.M., Roloff A. 1995 - 2005. Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie, Ecomed.
- Schütz J.P. 1998. Behandlungskonzepte der Buche aus heutiger Sicht. Schweiz. Z. Forstwes., 149: 1005-1030
- Schütz J.-P. 1992. Die waldbaulichen Formen und die Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. Schweiz. Z. Forstwes., 143: 442-460
- Schütz J.P., Barnola P. 1996. Importance de la qualite et de sa determination precoce dans un concept d education du hetre. Rev. For. Fr., 48: 417-430
- Schütz J.P., Scholz F. 1996. Genetische Untersuchungen zu phänotypischen Merkmalen an Buche (*Fagus sylvatica* L.). Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 147: 785-802
- Seymour R.S., White A.S., deMaynadier P.G. 2002. Natural disturbance regimes in northeastern North America--evaluating silvicultural systems using natural scales and frequencies. Forest Ecology and Management, 155: 357-367
- Soudani K., Trautmann J., Walter J.-M. 2001. Comparaison de methodes optiques pour estimer l'ouverture de la canopee et l'indice foliaire en foret feuillue: Comparison of optical methods for estimating canopy openness and leaf area index in broad-leaved forests. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie, 324: 381-392
- Spies T.A., Franklin J.F., Klopsch M. 1990. Canopy gaps in Douglas-fir forests of the Cascade Mountains. Canadian Journal of Forest Research, 20: 649-658
- Stancioiu P.T., O'Hara K.L. 2006a. Morphological plasticity of regeneration subject to different levels of canopy cover in mixed-species, multiaged forests of the Romanian Carpathians. Trees-Structure and Function, 20: 196-209
- Stancioiu P.T., O'Hara K.L. 2006b. Regeneration growth in different light environments of mixed species, multiaged, mountainous forests of Romania. European Journal of Forest Research, 125: 151-162
- Stritar A. 1990. Krajina, krajinski sistemi / Raba in varstvo tal v Sloveniji. Ljubljana, Partizanska knjiga: 173 str.
- Surfer 8 - User's guide. Colorado, Golden Software Inc.: 640 str.
- Šafar J. 1964. Kakvoča bukovog mladika u sastojinama Dinarskih planina. Šumarski list, 88: 307-315

- Tabaku V., Meyer P. 1999. Gap patterns of Albanian and Central European beech forests. *Forstarchiv*, 70: 87-97
- Takyu M. 1998. Shoot growth and tree architecture of sapling of the major canopy dominants in a warm-temperate rainforest. *Ecological Research*, 13: 55-64
- Tonne F. 1954. *Besser bauen mit Besonnungs- und Tageslicht- planung*. Stuttgart, Verlag Karl Hofmann: 41 str.
- Urbančič M., Simončič P. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije - 3. del. *Gozdarski vestnik*, 63: 199-210
- Van Hees A.F.M. 1997. Growth and morphology of pedunculated oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Ann Sci For*, 54: 9-18
- Vilhar U. 2005. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda v Kočevskem rogu - doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 245 str.
- Vilhar U., Starr M., Urbancic M., Smolej I., Simoncic P. 2005. Gap evapotranspiration and drainage fluxes in a managed and a virgin dinaric silver fir-beech forest in Slovenia: a modelling study. *European Journal of Forest Research*, 124: 165-175
- Watt A.S. 1923. On the Ecology of British Beechwoods with Special Reference to Their Regeneration. *The Journal of Ecology*, 11: 1-48
- Watt A.S. 1947. Pattern and process in the plant community.
- Welander N.T., Ottoson B. 1995. Influence of photosyntetic photon flux density on growth and transpiration in seedlings of *Fagus sylvatica*. *Tree Physiology*, 17: 133-140
- Welander N.T., Ottoson B. 1998. The influence of shading on growth and morphology in seedlings of *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. *Forest Ecology and Management*, 107: 117-126
- Welles J.M. 1990. 3. Some Indirect Methods of Estimating Canopy Structure. *Remote Sensing Reviews*, 5: 31-43
- Welles J.M., Norman J.M. 1991. Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture. *Agronomy Journal*, 83: 818-825
- Whitmore T.C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology*, 70: 536-538

Zeibig A. 2001. Lückenstörungsmuster eines montanen illyrischen Buchenurwaldes der Assoziation *Isopyro-Fagetum* im Reservat Krokar der Borovška Gora im südwestlichen Slowenien - Diplomarbeit. Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden: 92 str.

Zeibig A., Diaci J., Wagner S. 2003 Gap disturbance patterns of a *Fagus sylvatica* virgin forest remnant in the mountain vegetation belt in Slovenia. V: Natural forests in the temperate zone of Europe - values and utilisation. B. Commarmot (Ur.). Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute WSL; Rakhiv: Carpathian Biosphere Reserve, Mukachevo, Ukraine: 81-92

ZAHVALA

Mnogo jih je, sodelavcev, kolegov, prijateljev in mojih najbližjih, ki so delček svoje energije vložili v tole delo. Vsem se iskreno zahvaljujem.

Tistim, katerih delček se je skozi nastajanje naloge spremenil v del za dobro vago pa se še posebej izdatno zahvaljujem:

Juriju Diaciju za nasvete, ideje, kritično usmerjanje mojega dela in vsesplošno podporo in vzpodbudo skozi ves čas najinega sodelovanja,

Robertu Brusu za pripombe in pomoč pri razčiščevanju stokovnih pojmov.

Andreju Bončini in Francu Batiču za natančne in koristne pripombe v res kratkem času,

Urošu Kolarju za meritve, obdelave podatkov, izdelave skic ... in še in še bi lahko naštevali,

kolegom na Zavodu za gozdove Slovenije za pomoč brez oklevanja pri iskanju lokacij, izvedbi sečenj, oblikovanju novih idej, ter vzdrževanju naših raziskovalnih ploskev,

kolegom in prijateljem na oddelku, nenehno pri roki z odgovori na vsa vprašanja in vedno s pravo mero optimizma in kritične distance do svojega dela.

Čisto na koncu, pa ne zato, ker bi jim bil najmanj hvaležen, se zahvaljujem vsem mojim: Ljubi, Dragotu, Tanji, Vladotu, Bredi, Mihatu, Ljubotu, zato ker mi ves čas stojite ob strani.

Na koncu konca pa hvala še tistim najbolj mojim, Leni, Luni in Lanu, preprosto zato, ker so in me s svojo ljubeznijo in močjo umeščajo na ta svet.