

## UTJECAJ SVJETLA NA PRIRODNO POMLAĐIVANJE HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.) U PARK-ŠUMI MAKSIMIR U ZAGREBU

### INFLUENCE OF LIGHT ON NATURAL REGENERATION OF PEDUNCULATE OAK (*Quercus robur* L.) IN THE MAKSIMIR FOREST PARK IN ZAGREB

Maša Zorana OSTROGOVIĆ<sup>1</sup>, Krunoslav SEVER<sup>2</sup>, Igor ANIĆ<sup>2</sup>

**SAŽETAK:** U park-šumi Maksimir, u mješovitoj sastojini hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpinus betulus*-*Quercetum roboris* /Anić 1959/ Rauš 1969), analiziran je utjecaj svjetla na brojnost i kvalitetu mladog hrastovog naraštaja. Pokusna ploha obuhvatila je dvije pomladne jezgre u razvojnom stadiju mladika i površinu između jezgri u fazi ponika te mlađeg i starijeg pomlatka. Analiza podataka pokazala je da se prirodno pomlađivanje na malim površinama u park-šumi Maksimir odvija uspješno. Broj biljaka po jedinici površine je zadovoljavajući i iznosi 8,3 kom/m<sup>2</sup>. Prema vrsti smjese to je mješovita sastojina hrasta lužnjaka i običnoga graba s manjim udjelom divlje trešnje (*Prunus avium* L.), klena (*Acer campestre* L.), lipe (*Tilia* sp.) i mliječa (*A. platanoides* L.). Prednost mješovitih sastojina ogleda se u biološkoj i ekološkoj ravnoteži, a to su glavni ciljevi gospodarenja u park-šumi Maksimir. No, kvaliteta mladog naraštaja hrasta lužnjaka je upitna. Posljedica visoke gustoće biljaka na pomladnoj površini je visok prosječni koeficijent vitkosti mladog hrastovog naraštaja. Velik udio deformiranih debala, loše razvijenih krošnji i prevelika zastupljenost korovske vegetacije posljedica su nenjegovanja pomlatka.

Utvrđene su prosječne godišnje relativne vrijednosti difuznog i izravnog svjetla u pojedinim razvojnim stadijima hrasta lužnjaka. Ovisnost broja biljaka u različitim razvojnim stadijima o svjetlosnim uvjetima pojedinog mikrostaništa potvrđena je  $\chi^2$  testom. Dobivena je jaka pozitivna linearna korelacija između prosječnog visinskog prirasta hrasta lužnjaka i vrijednosti izravnog svjetla ( $r = 0,5809$ ).

**Ključne riječi:** pomladna jezgra, razvojni stadiji, izravno i difuzno svjetlo, kvaliteta mladog naraštaja hrasta lužnjaka.

#### UVOD – Introduction

Park-šume se od gospodarskih šuma razlikuju jedino u cilju gospodarenja, a to je prije svega održavanje i poboljšanje općekorisnih funkcija šuma. Zbog svoje namjene i položaja park-šume zahtijevaju poseban i intenzivniji tretman s obzirom na uobičajene zahvate njege, obnove i održavanja (Matić i Prpić 1997). Oplodne sječe na malim površinama u obliku krugova imaju primjenu u šumama posebne namjene (Anić i Oršanić 2009) i sve veću ulogu u zaštiti čovjekova

okoliša (Matić 1986). Opravdanost ovog načina pomlađivanja ogleda se u kvaliteti sastojina koje se na ovaj način pomlađuju. Ova metoda podržava biološku raznolikost sastojina, a rezultat je kvalitetna i stabilna mlada sastojina. Pomlađivanje započinje istovremeno na nekoliko manjih i međusobno odvojenih pomladnih jezgri. Pomladak raste i razvija se, jezgre se sukcesivno šire i povezuju u grupe i konačno nastaje cjelovita sklopljena pomlađena sastojina.

Prirodno pomlađivanje je najsloženiji proces u životu šumske sastojine. Uspjeh prirodnog pomlađivanja ovisi o nizu ekoloških čimbenika i o njihovom uravnoteženom odnosu. Svjetlo je ekološki čimbenik na kojega uzgojnim zahvatima možemo neposredno utjecati.

<sup>1</sup> Maša Zorana Ostrogović, dipl. ing., Hrvatski šumarski institut Trnjanska cesta 35, 10000 Zagreb. e-mail: masao@sumins.hr

<sup>2</sup> Izv. prof. dr. sc. Igor Anić, Krunoslav Sever, dipl. ing., Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Svetošimunska c. 25, 10000 Zagreb.

Matić (1984) je istraživao utjecaj svjetla na prirodno pomlađivanje, stavljajući u odnos količinu užitog svjetla u sastojini i broj biljaka po visinskim klasama. M i k a c i dr. (2007–2008) istražuju uspješnost pomlađivanja s obzirom na mikrostanišne svjetlosne uvjete. Poznavanje reakcija ponika i pomlatka na svjetlo ključno je pri određivanju stupnja tolerancije pojedinih vrsta na zasjenu (K o b e i dr. 1995). Uvid u stupanj skiofitnosti mladih biljaka omogućuje nam da smišljenim radom mijenjamo intenzitet svjetla u šumskoj sastojini i na taj način ostva-

rmo uspješno i kvalitetno prirodno pomlađivanje, a time i optimalnu kvantitativnu i kvalitativnu proizvodnju drva.

Cilj ovog istraživanja bio je dobiti uvid u kojoj mjeri kvantitativne značajke svjetla na pomladnoj površini utječu na brojnost mladog naraštaja hrasta lužnjaka u razvojnom stadiju ponika, mlađeg i starijeg pomlatka te mladika kao i na kvalitetu starijeg pomlatka i mladika u procesu prirodnog pomlađivanja na malim površinama u obliku krugova.

## MATERIJAL I METODE – Material and Methods

Istraživanje je obavljeno u park-šumi Maksimir, u mješovitoj sastojini hrasta lužnjaka i običnoga graba (*Carpino betuli-Quercetum roboris* /Anić 1959/ Rauš 1969), u razdoblju 2006–2007. godine. U sjeveroistočnom dijelu parka, postavljena je pokusna ploha površine 71,5 x 31,5 m (2252,25 m<sup>2</sup>). Plohom su se obuhvatile dvije pomladne jezgre s mladim hrastovim naraštajem u razvojnim stadijima ponika, pomlatka i mladika te površina između njih obrasla korovskom vegetacijom.

Unutar plohe postavljena je kvadratna mreža 5 x 5 m. Na sjecištima mreže postavljeno je 105 mjernih ploha, 1,5 x 1,5 m. Na njima su podaci prikupljeni u dva navrata, u zimu 2006. godine i u proljeće 2007. godine. Za vrijeme mirovanja vegetacije zabilježen je broj biljaka po vrstama i razvojnim stadijima koji su definirani visinskim klasama na sljedeći način: ponik  $\leq 20$  cm, mlađi pomladak 21–50 cm, stariji pomladak 51–130 cm i mladik  $> 130$  cm. U hrastovom naraštaju višem od 50 cm (stariji pomladak i mladik) izabrana su tri reprezentativna primjerka na svakoj mjernoj plohi i izmjerene su im sljedeće značajke: promjer pridanka biljke ( $d_{pr}$ ) u mm, visina biljke ( $H$ ) u cm, dužina biljke ( $D$ ) u cm i pet posljednjih visinskih prirasta vršnog izbojka ( $Si_h$ ) u cm. Nadalje, ocjenjivao im se oblik debla, oblik krošnje te zdravstveno stanje cijele biljke. Oblik debla određen je ocjenama 0–2, gdje je ocjena 0 označavala pravno deblo, 1 jednostrano zakrivljeno, a 2 deformirano. Oblik krošnje ocijenjen je sa 0 za dobro razvijenu ili simetričnu krošnju i 1 za rašljivu, slabo razvijenu ili asimetričnu krošnju. Zdravstveno stanje biljke određeno je ocjenama 0 za vitalno stablo i 1 za oštećeno ili suho stablo. Na mjernim plohamo bilježena je i prisutnost korova. Na površini čitave pokusne plohe snimljen je prostorni raspored matičnih stabala i izrađena je projekcija krošanja. U proljeće, nakon početka listanja, na

mjernim plohamo snimljene su hemisferene fotografije fotoaparatom Nikon F601 s lećom Sigma 8 mm, tzv. “riblje oko” (eng. *fish-eye*). Fotografije su snimljene u juturnjim satima, jer se najbolje fotografije izraženog kontrasta mogu ostvariti u uvjetima ujednačenog pozadinskog svjetla, odnosno neposredno pred svitanje, odmah po zalasku sunca ili za oblačnih dana (D i a c i i dr. 1999, J e l a s k a 2004).

Prikupljeni podaci obrađeni su računalnim programima Excel 2003, STATISTICA 6.0, ArcGIS, WinSVS i WinSCANOPY Pro 2006 a.

Struktura pomladnih jezgri izražena je kroz vrstu smjese, omjer smjese po broju stabala, gustoću sastojine ( $N/ha$ ) te prosječnu visinu ( $h$ ) i promjer na pridanku ( $d_{pr}$ ) mladog hrastovog naraštaja. Kvaliteta pomlađivanja procijenjena je na temelju pravnosti debla ( $H/D \times 100$ ), koeficijenta vitkosti stabla ( $H/(d_{pr}/10)$ ), prosječnog visinskog prirasta ( $Si_h/5$ ) u cm te postotnog udjela pravilno razvijenih i zdravih stabala hrasta lužnjaka (i.e. postotni udio ocjena 0 za oblik debla, krošnje i zdravstveno stanje). Grupiranjem ploha prema prosječnoj visini biljaka utvrđena je raspodjela razvojnih stadija na površini pokusne plohe. Iskazane su prosječne vrijednosti pojedinih komponenti svjetla s obzirom na razvojni stadij vegetacije. S obzirom na vrijednosti medijane izravnog i difuznog svjetla, određena su četiri mikrostaništa nazvana A ( $dir \leq Med$ ,  $dif > Med$ ), B ( $dir > Med$ ,  $dif > Med$ ), C ( $dir \leq Med$ ,  $dif \leq Med$ ) i D ( $dir > Med$ ,  $dif \leq Med$ ) (D i a c i i dr. 1999). Obavljeno je i grupiranje ploha s obzirom da li se nalaze pod sklopom ili u progali, te su iskazane prosječne vrijednosti mjerenih varijabli glede mikostaništa i progale/sklopa. Analizirana je i ovisnost prosječnog visinskog prirasta o vrijednostima mjerenih komponenti svjetla.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA – Results

### Struktura i kvaliteta mladog hrastovog naraštaja *Structure and quality of young oak growth*

Površina obuhvaćena pokusnom plohom predstavlja reprezentativni uzorak mlade mješovite sastojine hrasta lužnjaka i običnoga graba s primjesama divlje trešnje, klenu, lipe i mljječa, gdje udio hrasta lužnjaka u omjeru

smjese po broju stabala iznosi 69,6 %. Od ostalih vrsta više od 90 % čini obični grab. Gustoća biljaka na pokusnoj plohi preračunata na hektar iznosi 82 963 kom/ha od čega na hrast otpada 57 778 kom/ha.

Na ukupno 105 mjernih ploha, odabrana su 122 reprezentativna stabla hrasta lužnjaka u razvojnog stadiju starijeg pomlatka i mladika (>50 cm) kojima se mjerila visina, promjer pridanka i visinski prirast, a nji-

hove prosječne vrijednosti prikazane su u tablici 1. Mjerena stabla raspoređena su u dvije pomladne jezgre, od kojih prva obuhvaća 30, a druga 92 stabla.

Tablica 1. Prosječne vrijednosti visine, promjera pridanka biljke i visinskog prirasta po pomladnim jezgrama  
Table 1 Average height, ground level diameter and height increment sorted by regeneration gaps

Pomladna jezgra – Regeneration gap	$h$ (cm)	$d_{pr}$ (mm)	$i_h$ (cm)
I.	210,5	21	11,0
II.	274,3	29	16,9
Prosjeck – Average	258,6	27	15,5

Kvalitativne značajke mladog naraštaja koje su također mjerene na prethodno spomenuta 122 lužnjakova stabla iskazane su sumarno za obje jezgre. Izmjerena hrastova stabalca odlikovala su se pravim deblom u 33,6 % slučajeva, jednostruko zakrivljenim deblom u 36,1 % slučajeva i deformiranim deblom u

30,3 % slučajeva. Dobro razvijenu i simetričnu krošnju imalo je 55,7 % stabala, dok je 44,3 % stabala imalo rašljivu ili slabo razvijenu krošnju. U 80,3 % slučajeva stabla su bila zdrava i vitalna, dok je 19,7 % stabala bilo oštećeno ili suho. Ostale mjerene varijable prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Deskriptivna statistika mjerenih varijabli  
Table 2 Descriptive statistics of measured variables

	N	Mean	Med	Min	Max	SD	SE
$h$ (cm) – Height	122	258,6	232,5	56,0	624,0	147,4	13,3
$d_{pr}$ (mm) – Ground level diameter	122	27	25	5	76	16,9	1,5
$i_h$ (cm) – Height Increment	122	15,5	15,4	1,1	40,6	8,0	0,7
Pravnost debla – Verticality of stem (%)	122	89,1	92,1	57,1	99,3	8,7	0,8
Koef. vitkosti stabla – Tree Slenderness coeff.	122	97,7	96,6	55,1	177,8	22,2	2,0

### Analiza svjetla – Light analysis

Becker i dr. (1989) navode kako su svjetlosni uvjeti pod zastorom krošanja starih stabala izrazito heterogeni, stoga postavljanje guste i pravilne mreže na čijim se sjecištima mjere svjetlosni uvjeti osigurava reprezentativan uzorak.

Analizom hemisfernih fotografija dobivene su prosječne godišnje relativne vrijednosti izravnog (eng. *direct site factor*; DSF) i difuznog (eng. *indirect site factor*;

ISF) svjetla za svaku pojedinu fotografiju snimljenu na sjecištima mreže. Te vrijednosti predstavljaju procjenu udjela količine izravnog i difuznog svjetla u sastojini u odnosu na stupanj svjetla izvan sastojine (Anderson 1964). Deskriptivnom statističkom analizom utvrđeno je kako je svjetlo na površini pokusne plohe normalno distribuirano, na što ukazuju približno jednake vrijednosti aritmetičke sredine i medijane (tablica 3).

Tablica 3. Deskriptivne vrijednosti mjerenih komponenti svjetla  
Table 3 Descriptive values of measured light components

	N	Mean	Med	Min	Max	SD	SE
DSF (%)	105	25,51	26,89	2,95	59,63	12,93	1,26
ISF (%)	105	22,98	23,14	2,80	39,21	8,46	0,83

DSF (%) – relativne vrijednosti izravnog svjetla – *direct site factor*

ISF (%) – relativne vrijednosti difuznog svjetla – *indirect site factor*

S obzirom na vrijednosti medijane komponenti svjetla, određena su četiri mikrostaništa nazvana A, B, C i D (tablica 4). Medijana je korištena jer predstavlja

bolju procjenu centralne tendencije od aritmetičke sredine (Terborgh i Mathews 1999).

Tablica 4. Vrijednosti izravnog i difuznog svjetla za određena mikrostaništa  
Table 4 Values of direct and diffuse light for microsite types

	A	B	C	D
DSF (%)	$\leq 26,89$	$> 26,89$	$\leq 26,89$	$> 26,89$
ISF (%)	$> 23,14$	$> 23,14$	$\leq 23,14$	$\leq 23,14$
N ploha – N plots	13	39	40	13

DSF (%) – relativne vrijednosti izravnog svjetla – *direct site factor*

ISF (%) – relativne vrijednosti difuznog svjetla – *indirect site factor*

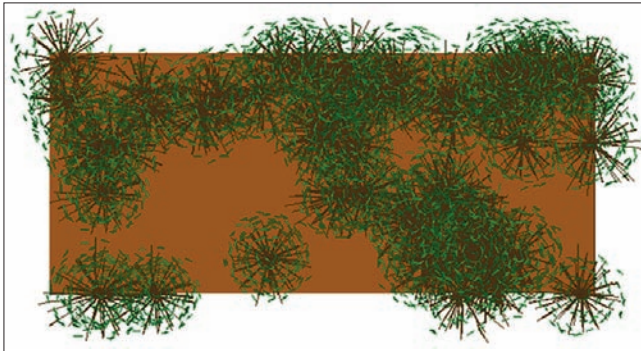
Uz ovako definirana mikrostaništa, bitno je istaći da je mikrostanište B pod utjecajem višeg stupnja svjetlosnog zračenja, a mikrostanište C pod utjecajem nižeg stupnja svjetlosnog zračenja. Mikrostaništa A i D predstavljaju intermedijarne tipove s obzirom na stupanj svjetlosnoga zračenja. Mikrostanište A ima slične svjet-

losne uvjete mikrostaništu C s obzirom na vrijednosti izravnoga svjetla, odnosno mikrostaništu B s obzirom na vrijednosti difuznoga svjetla, dok mikrostanište D ima slične svjetlosne uvjete mikrostaništu B ako promatramo vrijednosti izravnoga svjetla, odnosno mikrostaništu C ako promatramo vrijednosti difuznoga svjetla.

### Odnos distribucije svjetla i razvojnih stadija mladog naraštaja hrasta lužnjaka

#### *Relationship between distribution of light and young oak growth development stages*

Distribucija svjetla na površini pokusne plohe rezultat je prostornog rasporeda matičnih stabala hrasta lužnjaka i običnoga graba (slika 1).



Slika 1. Prostorni raspored starih matičnih stabala hrasta lužnjaka i običnoga graba na površini pokusne plohe

Figure 1 Spatial distribution of old grown oak and hornbeam trees at experimental plot

Grupiranjem mjernih ploha prema prosječnoj visini biljaka zabilježenih na pojedinoj plohi, utvrđena su četiri razvojna stadija: ponik, mlađi i stariji pomladak te mladik hrasta lužnjaka, dok je središnji dio pokusne plohe obrastao korovskom vegetacijom. Zbog malog broja ploha u razvojnom stadiju mlađeg pomlatka taj razvojni stadij promatran je zajedno s ponikom. Tablica 5 prikazuje prosječne vrijednosti izravnoga i difuznoga svjetla te mikrostaništa u kojima se trenutno nalaze pojedini razvojni stadiji hrasta lužnjaka, odnosno korovska vegetacija. Iz tablice je jasno uočljivo kako razvojni stadiji ponika i mlađega pomlatka zauzimaju mikrostanište s nižim stupnjem svjetlosnog zračenja. Razvojni stadij starijega pomlatka nalazi se na mikrostaništu s nižim stupnjem izravnoga, a višim stupnjem difuznog svjetla. Razvojni stadij mladika i korovska vegetacija zauzimaju isti tip mikrostaništa koje se odlikuje višim stupnjem svjetlosnoga zračenja.

Tablica 5. Prosječne vrijednosti izravnog i difuznog svjetla za pojedine razvojne stadije vegetacije

Table 5 Average values of direct and diffuse light for different development stages of vegetation

Svjetlosni uvjeti <i>Light conditions</i>	Razvojni stadiji hrasta lužnjaka i korovska vegetacija <i>Development stages of Pedunculate Oak and weed vegetation</i>			
	Ponik i mlađi pomladak <i>Seedlings and young saplings</i> (≤50 cm)	Stariji pomladak <i>Saplings</i> (51 – 130 cm)	Mladik <i>Young trees</i> (> 130)	Korovska vegetacija <i>Weed vegetation</i>
DSF (%)	16,37	24,00	35,15	27,31
ISF (%)	16,52	25,99	26,97	26,09
N ploha <i>N of plots</i>	37	13	33	22
% <sup>a</sup>	48	9	26	17
% <sup>b</sup>	81	49	63	71
Mikrostanište <i>Microsite type</i>	C	A	B	B

a – raspodjela ukupnog broja biljaka hrasta lužnjaka po razvojnim stadijima ( $\Sigma = 100\%$ )

b – udio hrasta u ukupnom broju biljaka zabilježenih unutar pojedinog razvojnog stadija

DSF (%) – relativne vrijednosti izravnog svjetla – *direct site factor*

ISF (%) – relativne vrijednosti difuznog svjetla – *indirect site factor*

Od ukupnog broja biljaka hrasta lužnjaka na pokusnoj plohi najveći postotak (48 %) je u razvojnom stadiju ponika i mlađeg pomlatka, a najmanje je zastupljen

razvojni stadij starijega pomlatka. U odnosu na ostale vrste lužnjak je zastupljen preko 50 % u svim razvojnim stadijima osim u starijem pomlatku.

### Utjecaj svjetla na brojnost i kvalitetu ponika, pomlatka i mladika hrasta lužnjaka

#### *Influence of light on number and quality of seedlings, saplings and young oak trees*

Ovisnost brojnosti biljaka hrasta lužnjaka u pojedinom mikrostaništu o razvojnom stadiju testirana je  $\chi^2$

testom ( $\chi^2 = 337$ , st.sl. = 9,  $p < 0,01$ ). Ponik i mlađi pomladak promatrani su zasebno.

Tablica 6. Relativni udio brojnosti biljaka hrasta lužnjaka u pojedinom mikrostaništu po razvojnim stadijima  
 Table 6 Relative share of number of Pedunculate Oak trees in a specific microsite type by development stages

Razvojni stadiji <i>Development stages</i>	Mikrostaništa – <i>Microsite types</i>			
	A	B	C	D
Ponik – <i>Seedlings</i> ( $\leq 20$ cm)	0,26	0,25	0,68	0,33
Mlađi pomladak – <i>Young saplings</i> (21-50 cm)	0,28	0,34	0,25	0,48
Stariji pomladak – <i>Saplings</i> (51-130 cm)	0,26	0,16	0,05	0,13
Mladik – <i>Young trees</i> ( $> 130$ cm)	0,20	0,25	0,02	0,06
Ukupno – <i>Total</i>	1,00	1,00	1,00	1,00
$\sum N$ stabala – $\sum N$ of trees	85	381	650	249

Rezultati statističke analize ukazuju kako mikrostanište C, odnosno niži stupanj izravnog i difuznog svjetla, pozitivno utječe na brojnost ponika hrasta lužnjaka, dok je brojnost stabala u razvojnom stadiju mladika najveća na mikrostaništu B koje bilježi viši stupanj izravnog i difuznog svjetlosnog zračenja. Mikrostanište D koje se odlikuje višim stupnjem izravnog, a nižim stupnjem difuznog svjetla pozitivno utječe na brojnost mlađega pomlatka hrasta lužnjaka, dok mikrostanište A s nižim stupnjem izravnog, a višim stupnjem difuznog svjetla pozitivno utječe na brojnost starijeg lužnjakovog pomlatka.

Relativni udjeli brojnosti biljaka hrasta lužnjaka i ostalih vrsta raspoređenih po mikrostaništima prikazani su tablicom 7. Na mikrostaništu C i D dominira hrast lužnjak. Od ukupno 41 % stabala na mikrostaništu C, čak 33 % otpada na hrast, dok na mikrostaništu D od ukupno 16 % stabala, 13 % čini lužnjak. Na mikrostaništu B su razlike u broju stabala lužnjaka i ostalih vrsta znatno manje, dok na mikrostaništu A broj stabala ostalih vrsta premašuje broj stabala hrasta lužnjaka.

Tablica 7. Relativni udio hrasta lužnjaka i ostalih vrsta u određenom mikrostaništu  
 Table 7 Relative share of Pedunculate Oak and other species in a specific microsite type

	Mikrostaništa – <i>Microsite types</i>				
	A	B	C	D	Ukupno – <i>Total</i>
Hrast lužnjak – <i>Pedunculate Oak</i> , %	0,04	0,20	0,33	0,13	0,70
Ostalo – <i>Other</i> , %	0,05	0,14	0,08	0,03	0,30
Ukupno – <i>Total</i> , %	0,09	0,34	0,41	0,16	1,00

Mladom naraštaju hrasta lužnjaka u razvojnom stadiju starijeg pomlatka i mladika (iznad 50 cm visine) mjerene su varijable koje opisuju njegovu kvalitetu, a njihova ovisnost o pojedinom mikrostaništu prikazana je u tablici 8. Mlada lužnjakova stabla koja se razvijaju na mikrostaništu B, u uvjetima višeg stupnja izravnog i difuznog svjetlosnog zračenja, imaju najbolje kvalitativne značajke, dok stabla koja rastu u svjetlosnim uvjetima mikrostaništa C, gdje je stupanj svjetlosnog zračenja niži, imaju najlošije kvalitativne značajke. Mladi hrastov naraštaj uzrastao na intermedijarnim mikrostaništima A i D ima vrlo slične vrijednosti kvalitativnih značajki.

Mladom naraštaju hrasta lužnjaka u razvojnom stadiju starijeg pomlatka i mladika (iznad 50 cm visine) mjerene su varijable koje opisuju njegovu kvalitetu, a njihova ovisnost o pojedinom mikrostaništu prikazana je u tablici 8. Mlada lužnjakova stabla koja se razvijaju na mikrostaništu B, u uvjetima višeg stupnja izravnog i difuznog svjetlosnog zračenja, imaju najbolje kvalitativne značajke, dok stabla koja rastu u svjetlosnim uvjetima mikrostaništa C, gdje je stupanj svjetlosnog zračenja niži, imaju najlošije kvalitativne značajke. Mladi hrastov naraštaj uzrastao na intermedijarnim mikrostaništima A i D ima vrlo slične vrijednosti kvalitativnih značajki.

Tablica 8. Prosječne vrijednosti kvalitativnih značajki mladog naraštaja lužnjaka razvrstane po mikrostaništima  
 Table 8 Average values of qualitative characteristics of young oak growth sorted by microsite types

	Mikrostaništa – <i>Microsite types</i>				
	A	B	C	D	Prosjeck – <i>Average</i> Ukupno – <i>Total</i>
N stabala – <i>Number of trees</i>	19	70	17	16	122
$i_h$ (cm) – <i>Height Increment</i>	12,5	18,2	6,8	16,4	15,5
Pravnost debla – <i>Verticality of stem</i> (%)	84,1	92,3	84,5	86,3	89,1
Koef. vitkosti stabla – <i>Tree Slenderness coeff.</i>	93,6	101,7	85,8	98,5	97,7
Deblo – <i>Stem</i> (%) <sup>a</sup>	10	78	5	7	100
Krošnja – <i>Crown</i> (%) <sup>a</sup>	12	60	15	13	100
Zdravstveno stanje – <i>Health</i> (%) <sup>a</sup>	14	60	13	12	100

a – raspodjela pravilno razvijenih i zdravih stabala (ocjena 0) po mikrostaništima

Obavljeno je i grupiranje ploha s obzirom na progalu ili sklop, na način da je progala definirana po me-

todi vertikalne projekcije krošnje (Brokaw 1982). S obzirom na stupanj izravnog i difuznog svjetla progala

odgovara svjetlosnim uvjetima mikrostaništa B, dok Prosjecne vrijednosti mjerenih varijabli s obzirom na sklop odgovara svjetlosnim uvjetima mikrostaništa C. progalu ili sklop iskazane su u tablici 9.

Tablica 9. Prosječne vrijednosti mjerenih varijabli pod sklopom i u progali  
Table 9 Average values of measured variables under cover and in the gap

	Progala – Gap	Sklop – Cover
Broj ploha – Number of plots	57	48
Broj stabala – Number of trees	96	26
h (cm) – Height	286,2	156,4
$d_{kor}$ (mm) – Ground level diameter	30	16
$i_h$ (cm) – Height Increment	16,7	11,1
Pravnost debla - Verticality of stem (%)	89,5	87,7
Koeficijent vitkosti stabla – Tree Slenderness coefficient	99,3	92,2
Deblo – Stem (%) <sup>a</sup>	34	31
Krošnja – Crown (%) <sup>a</sup>	54	62
Zdravstveno stanje – Health (%) <sup>a</sup>	80	81
DSF (%)	31,96	17,85
ISF (%)	27,73	17,34
Mikrostanište – Microsite type	B	C

a – udio pravilno razvijenih i zdravih stabala (ocjena 0) u ukupnom broju zabilježenih stabala u progali ili pod sklopom

DSF (%) – relativne vrijednosti izravnog svjetla – direct site factor

ISF (%) – relativne vrijednosti difuznog svjetla – indirect site factor

Kvalitativna značajka je i visinski prirast mladog naraštaja hrasta lužnjaka. Ovisnost prosječnog visinskog prirasta o udjelu izravnog svjetla izjednačena je linearnom funkcijom  $i_h = 0.316 * DSF + 4.6903$ . Pri intervalu pouzdanosti 0.95 koeficijent korelacije iznosi  $r = 0.5809$ , a koeficijent determinacije  $R^2 = 0.3374$ , što

ukazuje na jaku ovisnost prema Roemer-Orphalovoj tablici. Linearna korelacija prosječnog visinskog prirasta i udjela difuznog svjetla također je pozitivna, ali sa nižim koeficijentima;  $r = 0.4812$ ,  $R^2 = 0.2316$  i prema navedenoj tablici ukazuje na srednju ovisnost.

## RASPRAVA – Discussion

### Struktura, brojnost i kvaliteta mladog naraštaja hrasta lužnjaka

#### Structure, number and quality of young oak growth

Mješovite sastojine hrasta lužnjaka i običnog graba stabilne su i produktivne (Lončar 1950), a optimalan broj biljaka po jedinici površine u mladim sastojinama ove šumske zajednice, koji osigurava dobru gospodarsku, ekološku i socijalnu budućnost, je 40 000 kom/ha (Matić 1994). Gustoća biljaka hrasta na pokusnoj plohi iznosi 57 778 kom/ha, a od toga je čak 80,3 % zdravih i vitalnih stabala. Vitalnost biljaka ogleđa se i u prosječnom visinskom prirastu od 15,5 cm. Sve navedeno ukazuje na vrlo dobar uspjeh pomlađivanja. Sastojine u stadiju pomlatka i mladika vrlo su guste (Matić 2003). Gustoća sastojine pozitivno korelira s koeficijentom vitkosti (Wang 1998). Posljedica visoke gustoće biljaka na pomladnoj površini je visok pro-

sječni koeficijent vitkosti stabala koji iznosi 97,7. Vitkost stabala preko 100 u starijim sastojinama smatra se kao visoki rizik od vjetroizvala (Wang 1998). Kod mladog naraštaja vitkost stabala pogoduje deformaciji debla, što potvrđuje činjenica da čak trećina stabala (30,3 %) ima deformirano deblo. Prevelika gustoća ogleđa se i u velikom postotku slabo razvijenih i rašljavih krošnji (44,3 %). Vitka stabla slabo razvijene krošnje neotporne su na abiotske i biotske čimbenike (Matić 2003). Opstanak ponika, pomlatka te kvaliteta mladog naraštaja ovisi o pravodobnim zahvatima njege (Matić 1996), a upitna kvaliteta mladog naraštaja hrasta lužnjaka vjerojatno je posljedica izostanka čišćenja na površini pokusne plohe.

### Ovisnost brojnosti i kvalitete hrasta lužnjaka u različitim razvojnim stadijima o svjetlosnim uvjetima mikrostaništa

#### Number and quality dependence of oak trees in different development stages on microsite type light conditions

Hrast lužnjak je heliofilna vrsta, ali mu je u prvim godinama života potrebna zaštita krošanja matičnih stabala (Dekanić 1979), odnosno do četvrte godine podnosi zasjenu i manje količine svjetla (Matić 1994,

Matić 1996). Tablica 6 potvrđuje da poniku hrasta lužnjaka odgovara mikrostanište C, dok je najmanje zastupljen na mikrostaništu B. U svim ostalim razvojnim stadijima, brojnost lužnjaka je najmanja na mikrostani-

štu C. U razvojnem stadiju mlađeg pomlatka dolazi do izražaja lužnjakova heliofilnost, što potvrđuje najveća brojnost biljaka tog razvojnog stadija na mikrostaništu D. Stariji pomladak najbrojniji je na mikrostaništu A, dok je lužnjakov mladik najbrojniji na mikrostaništu B. Hrastov ponik je u izravnoj opasnosti od agresivne korovske vegetacije (Matić 1996) stoga njegova brojnost i opstanak u velikoj mjeri ovisi o zasjeni u kojoj mu korov ne konkurira, što odgovara mikrostaništu C. Matić (1996) ističe da je nakon naprodnog sijeka potrebno ostaviti dovoljan broj matičnih stabala da štite ponik i zaustavljaju bujanje korova.

Prirodno pomlađivanje ove šumske zajednice otežava lako i obilno pomlađivanje običnoga graba, stoga je u procesu pomlađivanja potrebno potpomagati lužnjak koji je uzgojno najslabiji (Dečanec 1979). U tablici 7 može se primijetiti da u uvjetima svjetla C i D hrast nema konkurenciju u odnosu na ostale vrste. Prevlad hrasta u uvjetima niskog stupnja svjetlosnog zračenja (mikrostanište C) objašnjava tolerancija hrasta na zasjenu u stadiju ponika (tablica 6). Na mikrostaništu D najzastupljeniji je razvojni stadij mlađeg pomlatka (tablica 6). Prevlad lužnjaka u tom razvojnem stadiju može se objasniti činjenicom da je lužnjak heliofit i da u uvjetima većeg stupnja svjetlosnog zračenja brzo odgovara visinskim prirastom (tablica 8 i tablica 9) te nadrađa ostale primiješane vrste. Na nekim mjernim ploham, koje odgovaraju mikrostaništu B uočen je visok udio korovske vegetacije (tablica 5). To može biti posljedica prejakog otvaranja stare sastojine te naglog prekida sklopa, gdje je prejaki intenzitet svjetla pogodovao konkurentnim vrstama koje su na-

djačale hrast u razvojnem stadiju ponika. Budući da lužnjak ima usku ekološku valenciju glede svjetla (Matić 1994) uspjeh i kvaliteta pomlađivanja ovise o zadovoljavanju navedenih zahtjeva.

Ako promatramo ovisnost prosječnih vrijednosti kvalitativnih značajki starijeg pomlatka i mladika hrasta lužnjaka o mikrostaništima (tablica 8), bitno je istaći da je od ukupno 122 mjerena stabla čak 70 stabala zabilježeno na mikrostaništu B, stoga je potrebno uzeti s rezervom lošije prosječne vrijednosti mjerenih varijabli zabilježenih u ostalim mikrostaništima. No, ako promatramo kvalitetu mladog naraštaja pod sklopom (mikrostanište C) i u progali (mikrostanište B) može se uočiti da mikrostanište B izrazito povoljno utječe na prosječni visinski prirast i prosječnu vrijednost pravnosti debla (tablica 9). Koeficijent vitkosti stabla na mikrostaništu B kreće se oko 100, što se može objasniti međudjelovanjem visoke gustoće biljaka koje ne dopuštaju debljinski prirast i istovremeno velike količine svjetla koje potiču visinski prirast.

Uočena je i ovisnost prosječnog visinskog prirasta o svjetlu. Hrast lužnjak je vrsta koju karakterizira endogeni periodični rast (Le Hir 2005) što znači da unutar jedne vegetacije ostvaruje nekoliko visinskih prirasta (Trinajstić i Franjić 1996; Idžojtić 2005). Mjerenjem zadnjih pet visinskih prirasta te izračunavanjem njihovog prosjeka ( $\bar{S}_i/5$ ) dobivena je vjerodostojna slika o ostvarenom visinskom prirastu za vrijeme opažanih svjetlosnih uvjeta. Uočena jaka pozitivna korelacija prosječnog visinskog prirasta o vrijednostima izravnog svjetla ukazuje na važnost istraživanja utjecaja svjetla na rast i razvoj hrasta lužnjaka.

## ZAKLJUČCI – Conclusions

Na temelju istraživanja strukture i kvalitete mladoga naraštaja na pomladnim jezgrama koje su nastale u procesu pomlađivanja maksimirske šume oplodnim sječama na malim površinama u obliku krugova te analize svjetlosnih prilika, donose se sljedeći zaključci:

Prirodno pomlađivanje oplodnim sječama na malim površinama u obliku krugova u park-šumi Maksimir pokazalo se uspješnom metodom izmjene generacija. Na to ukazuju visoka gustoća i vitalitet mladih biljaka. Omjer smjese mladoga naraštaja je povoljan. Dominira hrast lužnjak.

Na brojnost ponika povoljno utječe niži stupanj izravnog i difuznog svjetla (mikrostanište C), mlađem pomlatku odgovara viši stupanj izravnog i niži stupanj difuznog svjetla (mikrostanište D), stariji pomladak najbrojniji je u uvjetima nižeg stupnja izravnog i višeg stupnja difuznog svjetla (mikrostanište A), dok mladiku odgovara viši stupanj direktnog i difuznog svjetla (mikrostanište B). Na mikrostaništima C i D hrast lužnjak nema konkurencije.

Kvaliteta mladog naraštaja u razvojnim stadijima starijeg pomlatka i mladika bolja je na mikrostaništu B. Mladi hrastov naraštaj uzrastao u uvjetima višeg stupnja izravnog i difuznog svjetla ostvario je veći prosječni visinski prirast i veći postotak pravnosti debla. Prosječan visinski prirast starijeg pomlatka i mladika pozitivno i jako korelira sa stupnjem izravnog svjetla.

Visoka gustoća biljaka na pomladnoj površini rezultirala je visokim prosječnim koeficijentom vitkosti starijeg pomlatka i mladika. Vitkost pogoduje deformaciji debala mladog naraštaja hrasta lužnjaka. Sve to je posljedica izostanka njege na pomladnoj površini. Redovita njega pomlatka neophodna je za osiguravanje razvoja kvalitetnog mladog naraštaja.

## ZAHVALA – Acknowledgment

Ovaj rad proizašao je iz diplomskog rada koji je 2007. godine obranjen na Zavodu za ekologiju i uzgajanje šuma Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Izrađen je uz pomoć znanstvenih projekata *Obnova i potrajnost šuma posebne namjene* te *Dina-*

*mika obnove bukovo-jelovih prašuma hrvatskih Dinarida* (068-0682041-1950), voditelja izv. prof. dr. sc. Igora Anića.

Hvala i prof. dr. sc. Anamariji Jazbec na savjetima prilikom statističke obrade.

## LITERATURA – References

- Anderson, M. C., 1964: Studies of woodland light climate: I. The photographic computation of light conditions, *J Ecol*, 52. (1): 27–41, London.
- Anić, I., M. Oršanić, 2009: Prirodno pomlađivanje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na malim površinama, U: S. Matic (ur.), *Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 39–52, Zagreb.
- Becker, P., D. W. Erhart, A. P. Smith, 1989: Analysis of forest light environments: Part I. Computerized estimation of solar radiation from hemispherical canopy photographs, *Agr Forest Meteorol*, 44. (3): 217–232.
- Brokaw, N. V. L., 1982: The definition of treefall gap and its effect on measures of forest dynamics, *Biotropica*, 14. (2): 158–160.
- Dekanić, I., 1979: Uzgojne mjere i proizvodnja u nekim prirodnim sastojinama i kulturama euroameričkih topola slavonskog područja, *Šum. list*, 103. (7–8): 299–332, Zagreb.
- Diaci, J., J. J. Thormann, U. Kolar, 1999: Meritve sončnega sevanja v gozdu – II. Metode na osnovi projekcij hemisphere neba in krošenj, *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 60: 177–210, Ljubljana.
- Idžojtić, M., 2005: Listopadno drveće i grmlje u zimskom razdoblju, *Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, 254 str., Zagreb.
- Jelaska, S. D., 2004: Analysis of canopy closure in the dinaric Silver Fir-Beech forests (*Omphalodo-Fagetum*) in Croatia using hemispherical photography, *Hacquetia*, 3. (2): 43–49, Ljubljana.
- Kobe, R. K., S. W. Pacala, A. Silander, C. D. Canham, 1995: Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance, *Ecol Appl*, 5. (1): 517–532.
- Le Hir, R., N. Leduc, E. Jeannette, J.-D. Viemont, S. Pelleschi-Travieri, 2005: Variations in sucrose and ABA concentrations are concomitant with heteroblastic leaf shape changes in a rhythmically growing species (*Quercus robur*), *Tree Physiol*, 26. (2): 229–238, Oxford.
- Matic, S., 1984: Utjecaj ekoloških i strukturnih čimbenika na prirodno pomlađivanje prebornih šuma jele i bukve u Gorskom kotaru, *Šum. list*, 108. (9–10): 391–398, Zagreb.
- Matic, S., 1986: Nastavni i pokusni šumski objekti Zagreb, *Glas. šum. pokuse*, posebno izdanje 2: 277–284, Zagreb.
- Matic, S., 1994: Prilog poznavanju broja biljaka i količine sjemena za kvalitetno pomlađivanje i pošumljavanje, *Šum. list*, 118. (3–4): 71–79, Zagreb.
- Matic, S., 1996: Uzgojni radovi na obnovi i njezi sastojina hrasta lužnjaka, *Hrast lužnjak (Quercus robur* L.) u Hrvatskoj, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Hrvatske šume, 167–212, Vinkovci-Zagreb.
- Matic, S., B. Prpić, 1997: Program njege, obnove i održavanja, te ekološke i socijalne funkcije park-šuma na području grada Zagreba, *Šum. list*, 121. (5–6): 225–242, Zagreb.
- Matic, S., 2003: Njega i obnova šuma hrasta lužnjaka, *Retrospektiva i perspektiva gospodarenja šumama hrasta lužnjaka u Hrvatskoj*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Centar za znanstveni rad u Vinkovcima, 143–166, Zagreb-Vinkovci.
- Mikac, S., D. Roženberger, I. Anić, J. Diaci, 2007–2008: Regeneration in canopy gaps of the dinaric beech-fir virgin forests, *Glas. šum. pokuse* 42: 29–41, Zagreb.
- Terborgh, J., J. Mathews, 1999: Partitioning of the understory light environment by two Amazonian treelets, *J Trop Ecol*, 15. (6): 751–763.
- Trinajstić, I., J. Franjić, 1996: Listovi kratkog plodnog izbojka, osnova za morfometrijsku analizu lista hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L., Fagaceae), *Skrb za hrvatske šume od 1846. do 1996.*, Knjiga 1., Hrvatsko šumarsko društvo, 169–178, Zagreb.
- Wang, Y., S. J. Titus, V. M. LeMay, 1998: Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests, *Can J Forest Res* 28. (8): 1171–1183.



*SUMMARY: In a forest park Maksimir, in a mixed forest stand of Pedunculate Oak and Common Hornbeam (Carpino betuli-Quercetum roboris /Anić 1959/ Rauš 1969), influence of light conditions on number and quality of young oak growth was investigated. Experimental plot covered two regeneration gaps and the space between, including the trees in a different stage of development (seedlings, saplings and young trees). Measurements were taken in the winter 2006 and spring 2007 in a single plot within the stand. The plot was divided in 105 sub-plots of 1.5 m x 1.5 m and on each sub-plot height (cm), tree length (cm), ground level diameter (mm) and last five height increments (cm) were measured. Parallel to the measurement, evaluation of stem quality, crown form and tree health state was conducted. Spatial distribution of old grown trees at the plot area, together with crown projections, was recorded. At each sub-plot a hemispherical photograph was taken. Average annual relative values of diffuse and direct light for different development stages of Pedunculate Oak were determined. Depending on the values of diffuse and direct light, four microsites (marked: A – D) with different light conditions were defined.*

*Results indicate that natural regeneration in naturally occurring gaps could be considered successful. Average number of trees per square meter was 8.3. Species composition of naturally occurring young trees in the gap indicates a continuation of the same forest community, namely mixed forest stand of Pedunculate Oak and Common Hornbeam with a smaller share of Wild Cherry (*Prunus avium* L.), Hedge Maple (*Acer campestre* L.), Norway Maple (*A. platanoides* L.) and Lime (*Tilia* sp.). Mixed forest stands are of great biological and ecological value, but also attractive to the park visitors. Maintaining them and their stability is a main management goal in this forest park. However, in naturally occurring gaps in the absence of silvicultural treatments the quality of young trees is questionable. High density of young growth at our plot resulted with high tree slenderness coefficient of 97,7. Share of deformed tree stems was significant (30.3 %), as well as share of badly developed tree crowns (44.3 %). Great abundance of weed vegetation was recorded and can be attributed to the lack of silvicultural treatments during regeneration. Chi-square test showed statistically significant dependence of number of young oak growth in different development stages with respect to the light conditions at microsite. Lower values of direct and diffuse light (microsite C) correspond with great number of oak seedlings. Surviving of oak seedling in low light conditions confirms the fact that in first few years oak is shade tolerant. However, great abundance of oak saplings at microsites A (lower values of direct and higher values of diffuse light) and D (higher values of direct and lower values of diffuse light) indicates that oak, when it arrives to the stage of saplings, favours higher light conditions. This is further corroborated at microsite B (with high values of direct and diffuse light) where young oak trees were most abundant. Quality of oak saplings and young trees was better at microsite B. Young oak trees grown in high light conditions obtained greater height increment and stem verticality. High positive correlation is obtained between Pedunculate Oak average height increment and average values of direct light ( $r = 0,5809$ ).*

*Key words: regeneration gap, development stages, direct and diffuse light, quality of young Pedunculate Oak growth.*