

DINAMIKA OŠTEĆENOSTI I STRUKTURA KROŠANJA STABALA HRASTA LUŽNJAKA U ŠUMSKIM ZAJEDNICAMA NA GREDI I U NIZI – REZULTATI MOTRENJA NA TRAJNIM POKUSNIM PLOHAMA

DAMAGE DYNAMICS AND STRUCTURE OF THE PEDUNCULATE OAK TREE CROWNS IN STANDS IN MICROELEVATIONS AND MICRODEPRESSIONS – RESULTS FROM THE MONITORING ON PERMANENT EXPERIMENTAL PLOTS

Tomislav DUBRAVAC, Stjepan DEKANIĆ, Valentin ROTH*

SAŽETAK: Među širokim rasponom čimbenika koji definiraju odumiranje stabala hrasta lužnjaka, najznačajniju ulogu zauzima upravo oštećenost krošanja koja predstavlja prvi vidljivi simptom slabljenja vitalnosti stabla. Osim toga, u šumarskoj je praksi oštećenost krošnje ključni kriterij pri doznaci stabala u redovnim i sanitarnim sječama. Cilj je ovoga rada bio istražiti dinamiku oštećenosti krošanja stabala hrasta lužnjaka i utjecaja oštećenosti krošnje na prirast temeljnice tijekom duljeg razdoblja u dvije najvažnije šumske zajednice hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Istraživanja su obavljena na trajnim pokusnim plohama u zajednici hrasta lužnjaka i običnoga graba na gredi (II-G-10) i u zajednici hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom u nizi (II-G-20). Obuhvaćeno je ukupno 38 pokusnih ploha od kojih je na 13 obavljena ponovna izmjera i procjena oštećenosti krošanja s intervalima izmjere od 9 do 17 godina. Udio stabala sa značajno oštećenom krošnjom naglo se povećava nakon starosti sastojine od oko 70 godina. Najveći intenzitet odumiranja (70 % u II-G-10 i 50 % u II-G-20) zabilježen je kod stabala s oštećenošću krošnje preko 60 %. U sastojinama V. i VI. dobnog razreda, stabla sa značajno oštećenom krošnjom imala su i značajno manji prirast temeljnice u usporedbi s vitalnim stablima sličnih prsnih promjera i širina krošnje. Udio značajno oštećenih stabala, kao i utjecaj oštećenja krošnje na prirast temeljnice, vrlo su slični u obje istraživane zajednice. Međutim, zabrinjava činjenica da je u sastojinama II-G-20 u samo jednom desetljeću evidentirano značajno povećanje sa 26 % na 70 % udjela značajno oštećenih lužnjakovih stabala, pa se postavlja pitanje u kojem će se smjeru dalje razvijati ove sastojine. Samo se nastavkom motrenja i daljnjim istraživanjima može razlučiti radi li se o velikim oscilacijama u toj šumskoj zajednici ili ipak o početku nepovratnoga procesa propadanja sastojina.

ključne riječi: hrast lužnjak, oštećenost krošanja, struktura sastojine, struktura krošanja, značajna oštećenost krošanja, prirast temeljnice, II-G-10, II-G-20

UVOD – Introduction

Odumiranje stabala hrasta lužnjaka već je dugo vremena aktualna tema u stručnoj i znanstvenoj šumarskoj literaturi, kako u Hrvatskoj, tako i u Europi (Harapin i Androić, 1996; Thomas i dr. 2002). O razmjerima problema u današnje vrijeme dovoljno govori činjenica

da je tijekom važenja zadnje gospodarske osnove područja, od 1996. do 2005. g. posječeno oko 2,7 mil. m³ slučajnoga prihoda hrasta lužnjaka, što je iznosilo oko 34 % ukupnoga lužnjakovog etata (Anon. 2006B).

S prvim pojavama intenzivnijega odumiranja stabala i sastojina, pojavile su se i prve pretpostavke o čimbenicima koji ga uzrokuju. Uglavnom se radilo o razmatranjima u kojima se odumiranje lužnjakovih stabala

* Dr. sc. Tomislav Dubravac, Stjepan Dekanić, dipl. ing. šum.
Dr. sc. Valentin Roth
Hrvatski šumarski institut

pokušavalo objasniti djelovanjem samo jednog uzročnika (npr. pepelnice ili golobrsta gubara). S vremenom su te jednostavne hipoteze, zahvaljujući opsežnim istraživanjima, evoluirale u shvaćanje pojave odumiranja hrasta lužnjaka kao složenoga procesa, u kojemu u različitim fazama i različitim intenzitetima sudjeluje velik broj stanišnih, sastojinskih i biotskih čimbenika (Vajda 1948, Harapin i Androić 1996, Hartman 1996, Prpić 1996, Wargo 1996, Donaubauer 1998, Führer 1998, Thomas i dr. 2002). Prema najnovijim znanstvenim spoznajama i modernim konceptualnim okvirima, za svaki se pojedinačni slučaj sušenja stabla može utvrditi zasebni kompleks pripremnih, poticajnih i terminalnih čimbenika koji utječu na tu pojavu (Mansion 1991, Dekanić i dr. 2009).

Mnogostruke štetne posljedice odumiranja stabala najviše se očituju u srednjodobnim, starijim i starim sastojinama hrasta lužnjaka nizinskoga dijela Republike Hrvatske. Katastrofalna propadanja cijelih sastojina, gdje u vrlo kratkom vremenu odumru gotovo sva lužnjakova stabla uz značajno odumiranje i drugih vrsta drveća, kao na primjer u dijelovima šuma Kalje (Prpić i dr. 1994, Anić i dr. 2002), Žutica (Baričević 1999, Kapec 2006) ili Turopoljski lug (Prpić i dr. 1994) u zadnje su vrijeme rijetka i ograničena na pojedine odsjke ili dijelove odsjeka. Umjesto toga, prevladava odumiranje pojedinih stabala ili malih grupa stabala hrasta lužnjaka nasumično raspoređenih po površini sastojine (Tikvić *et al.* 2011).

Količina i kvaliteta tehničkih sortimenata koji se pridobivaju iz oštećenih i odumrlih lužnjakovih stabala značajno je niža u odnosu na zdrava stabla (Kraljić i Golubović 1980, Golubović 1984, Tikvić i dr. 2009), što uzrokuje smanjenje njihove tržišne vrijednosti i financijske gubitke u poslovanju. U praktičnome gospodarenju lužnjakovim šumama se već dulje vrijeme provodi doznaka i sječa oštećenih i odumrlih stabala i izvan redovnih zahvata prorjede, čime se nastoji gubitke zbog smanjenja kvalitete uslijed odumiranja svesti na najmanju moguću mjeru. Osnovni je cilj takvoga zahvata iskoristiti stabla lošega vitaliteta prije nego što dođe do degradacije vrijednih tehničkih sortimenata, na prvom mjestu furnirskih trupaca. Kako se u pravilu odumiranje stabala u sastojinama počinje javljati oko polovice ophodnje, nakon starosti sastojine od otprilike 80 godina naglo raste broj ulazaka teške mehanizacije u sastojine i obujam sječe oštećenih i odumrlih stabala hrasta lužnjaka. Na primjer, u 69 % od 962 odsjeka s područja Spačvanskoga bazena utvrđeno je da su zahvati sječe i pridobivanja drva tijekom 11 godina obavljani 3 i više puta, a u 20 % odsjeka svake druge godine (Dubravac i Dekanić 2009).

Odumiranje pojedinačnih stabala i učestale sječe ostavljaju mnogobrojne negativne posljedice na šumske ekosustave, koje su s ekološkog i uzgojnog stajališta

puno veće od stvarnih financijskih gubitaka, posebice ako se promotre u kontekstu prirodne obnove. Smanjenjem broja stabala hrasta lužnjaka po jedinici površine, narušava se sklop i pada obrast, čime se narušava sastojinska klima i struktura sastojina, a čestim ulascima mehanizacije povećavaju se potencijalno negativni utjecaji na tlo i preostala stabla u sastojini (Posarić 2008, Poršinsky i Ožura 2006, Gaertig i dr. 2002).

Praćenje stanja stabala hrasta lužnjaka, kao i provođenje gospodarskih mjera kojima se pokušavaju umanjiti negativne posljedice pojave odumiranja stabala, značajno je povezano s procjenom oštećenosti stabala i njihovih krošanja. Oštećenost krošnja predstavlja ključni kriterij po kojemu se doznaju oštećena stabla za sječu (Prpić 1992, Anon. 2006A, Anon. 2007, Anon. 2009), pri čemu se za stabla osutosti krošnje veće od 80 % ("3B" stabla) smatra da su nepovratno oštećena, te da će vrlo brzo odumrijeti. Znanstveni temelji te pretpostavke nalaze se u rezultatima brojnih istraživanja u kojima je istraživani utjecaj oštećenja krošnje na rast, vitalitet i mortalitet stabala raznih vrsta drveća s različitih gledišta. Za hrast lužnjak je, na primjer, dokazano smanjenje prirasta stabla uslijed oštećenja krošnje zbog napada gubara, koje može iznositi i do 30 % volumnoga prirasta stabla (Klepac 1959, Klepac i Spajić 1965).

Osutost lišća i odumiranje grančica, kao i posljedično povećanje oštećenosti krošnje kod starijih stabala hrasta lužnjaka ne mora nužno biti simptom odumiranja, nego može biti posljedica eksczesnih sušnih razdoblja, mraza, ili oštećenja korijena (Thomas i dr. 2002, Rust i Rolloff 2004). Međutim, kada se radi o negativnim utjecajima višestrukih čimbenika tijekom duljeg razdoblja, onda progresivno povećanje oštećenosti krošnje predstavlja prvi vidljivi simptom odumiranja stabla (Thomas i dr. 2002). Istraživanjima na lužnjakovim stablima u južnoj Švedskoj, ustanovljeno je da stupanj oštećenosti krošnje može biti pokazatelj trenda debljinskog prirasta u zadnjih 10 godina prije procjene oštećenosti (Drobyshev i dr. 2007). Kod stabala neoštećenih krošanja debljinski je prirast bio najveći, dok je kod stabala s oštećenjem krošnje većim od 60 % prirast bio najmanji uz trend daljnjeg opadanja (Drobyshev i dr. 2007). Kako su debljinski prirast i prirast temeljnice najbolji indikatori vitaliteta stabla (Pedersen 1998, Bigler i Bugmann 2004, Dobbertin 2005) progresivno pogoršanje stanja krošnje može biti pokazatelj smanjene vitalnosti posebice za stabla s oštećenjem krošnje iznad 60 %. Korištenje parametra oštećenosti krošnje može poboljšati točnost i upotrebljivost različitih matematičkih modela koji se koriste u izradi scenarija i analiza reakcije stabala na buduće klimatske promjene (Dobbertin 2001).

Vizualna procjena oštećenosti krošanja danas predstavlja nezaobilaznu kariku u praćenju dinamike odumiranja stabala hrasta lužnjaka i drugih vrsta šumskog drveća. S praćenjem oštećenosti krošanja šumskog drveća započelo se ranih 1980-ih godina kako bi se istražila povezanost zračnog onečišćenja i propadanja šumskih ekosustava (Bussotti i Ferretti 1998). Razvijena je jedinstvena metodologija i kriteriji procjene oštećenosti krošanja kako bi se mogli usporediti podaci prikupljeni u raznim europskim regijama. 1985. godine osnovan je Međunarodni program za procjenu i motrenje utjecaja zračnog onečišćenja na šume (ICP Forests, Anon. 2010). Hrvatska sudjeluje u Programu ICP-Forests od 1987. godine, a Hrvatski šumarski institut je Nacionalni koordinacijski centar Programa.

Nakon 25 godina motrenja oštećenosti krošanja šumskog drveća na europskoj razini, nije potvrđena prepo-

stavka da je zračno onečišćenje jedini ili glavni uzročnik propadanja šuma (Bussotti i Ferretti 1998, de Vries i dr. 2000, Klap i dr. 2000, Thomas i dr. 2002, Anon. 2010). Na temelju velikog broja prikupljenih i obrađenih podataka, došlo se do spoznaje da intenzitet utjecaja zračnoga onečišćenja na stanje stabala ovisi o nizu drugih čimbenika kao što su vrsta i struktura šumske sastojine, povijest gospodarenja sastojinom, stanišni uvjeti, vremenske prilike i sl. (Anon 2010).

Cilj je ovoga rada prikazati dinamiku oštećenosti krošanja stabala hrasta lužnjaka koristeći podatke sa mreže trajnih pokusnih ploha. Oštećenost krošanja je analizirana s obzirom na starost sastojina, dinamiku oštećenja između dvije izmjere te utjecaj stupnja oštećenosti krošanja na prirast temeljnice. Također je istražena dinamika oštećenosti krošanja stabala hrasta lužnjaka u dvije najvažnije šumske zajednice hrasta lužnjaka u Hrvatskoj.

MATERIJAL I METODE – *Material and methods*

Istraživanje je obavljeno na 38 trajnih pokusnih ploha u sastojinama hrasta lužnjaka, koju je osnovao i održava Hrvatski šumarski institut. U šumi hrasta lužnjaka s običnim grabom na gredi (*Carpino betuli-Quercetum roboris* /Anić 1959/ Rauš 1969) nalaze se 33 pokusne plohe, dok se u šumi hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom u nizi (*Genisto elatae-Quercetum roboris* Ht. 1938) nalazi 5 pokusnih ploha. Naizgled veliki nesrazmjer u broju pokusnih ploha umanjen je na taj način što se dinamika oštećenosti krošanja, kao glavni cilj ovoga članka, promatra na podjednakom broju pokusnih ploha u obje zajednice (tablica 1). U daljnjem će se tekstu za dvije grupe ploha koristiti oznake njihove pripadnosti ekološko gospodarskom tipu (EGT), odnosno za šumske zajednice na gredi koristit će se oznaka II-G-10, a za sastojine u nizi oznaka II-G-20 (Bezák i dr. 1989).

Plohe su osnovane u razdoblju od 1991. do 2000. godine kada, je napravljena i prva izmjera. Na svim su ploham stabla trajno obrojčana te im je snimljen položaj. Stablama su izmjerena dva unakrsna promjera u prsnoj visini (1,30 m od tla), totalna visina i duljina debla. Također je izrađen i tlocrt horizontalnih projekcija krošanja. Iz dva unakrsna promjera izračunat je srednji prsni promjer, a duljina krošnje je izračunata kao razlika visine stabla i duljine debla. Krošnjatost, odnosno udio krošnje u visini stabla, izračunata je kao omjer duljine krošnje i visine stabla. Iz tlocrta horizontalnih projekcija krošanja svakom je stablu izmjeren najmanji i najveći promjer krošnje te je izračunata prosječna širina krošnje. Procjena oštećenosti krošanja obavljena je prema modificiranoj metodi propisanoj od Međunarodnog programa za procjenu i motrenje utjecaja zračnog onečišćenja na šume (ICP Forests, Eichorn i dr. 2010). Najvažniji elementi procjene bili su: osutost krošnje, gubitak boje asimilacijskih organa, te lako prepoznatljivi biotički i abiotički uzroci štete. Prioritet u procjeni je bio na osu-

tosti krošnje, pri čemu je ona procjenjivana prema stupnjevima osutosti u odnosu na normalno stanje: stupanj 0 (< 10 %), stupanj 1 (11–25 %), stupanj 2 (26–60 %), stupanj 3 (61–99 %) i stupanj 4 (100 % – odumrlo stablo). Stabla s osutosti krošnje iznad 25 % smatraju se značajno oštećenim stablima, dok se stabla s osutosti krošnje do 25 % smatraju neoštećenim, odnosno vitalnim stablima. Iako je prioritet u procjeni bio na osutosti krošanja, u obzir su uzimani i drugi čimbenici koji su utjecali na definiranje stupnja oštećenosti stabla, kao što su: tekline, mehanička oštećenja debla, slomljene ili odumrle grane u krošnji, oblik krošnje i slično. Način procjene oštećenosti krošnje pojedinoga stabla modificiran je iz ICP-Forests metodologije, dok je struktura uzorka u potpunosti drukčija. Oštećenost krošnje je procijenjena svim stablima na plohi bez obzira na njihov položaj u strukturi sastojine, dok se u ICP-Forests metodologiji uzorkovanje obavlja na karakterističnom uzorku definiranom uz mnoštvo metodoloških kriterija (Eichorn 2010). Osim toga, za razliku od ICP-Forests metodologije, u ovome se radu dodatna pozornost posvećuje fitocenološkoj pripadnosti i starosti sastojine u kojoj se procijenjuje oštećenost. Zbog svega navedenoga, rezultati koji se donose u ovome radu nisu izravno usporedivi s podacima iz standardnih ICP Izvješća (npr. Potočić i Seletković 2009).

Druga je izmjera i procjena obavljena 2008. i 2009. godine na 13 ploha. Osnovni podaci o lokacijama i površini ponovno izmjerenih ploha, starosti sastojine, godinama obavljenih izmjera i razdoblju između dvije izmjere prikazani su u tablici 1. Za detaljne informacije o ostalim ploham s kojih smo koristili samo podatke iz prve izmjere, čitatelje upućujemo na već objavljene radove (Dubravac 2002, 2003, 2004) koji ovdje nisu prikazani zbog ograničenog prostora. U drugoj su izmjeri svim stablima na ploham po istoj metodologiji

Tablica 1. Osnovni podaci o trajnim pokusnim ploham na kojima su obavljene ponovne izmjere
 Table 1 Basic information on re-measured permanent experimental plots

Oznaka plohe Plot No.	Uprava šuma Forest adminstr.	Šumarija Forest office	Gospodarska jedinica Management unit	Površina plohe, ha Plot area, ha	Prva izmjera First measurement		Druga izmjera Second measurement		Razdoblje motrenja Monitoring period
					godina year	starost age	godina year	starost age	
II-G-10 – sastojine hrasta lužnjaka s običnim grabom na mikrouzvisinama (greda)									
<i>II-G-10 – stands of pedunculate oak with common hornbeam on microelevations</i>									
1	Bjelovar	Bjelovar	Česma	0,36	1991	100	2008	117	17
4	Bjelovar	Bjelovar	Česma	0,36	1991	97	2008	114	17
10	Bjelovar	Vrbovec	Bolčanski. lug	0,36	1991	118	2008	135	17
15	Bjelovar	Vrbovec	Česma	0,36	1992	101	2008	117	16
21	Bjelovar	Vel. Pisanica	Dug. gaj Jas. drljež	0,25	1992	77	2008	93	16
22	Bjelovar	Vel. Pisanica	Dug. gaj Jas. drljež	0,36	1992	76	2008	92	16
33	Vinkovci	Otok	Slavir	0,36	1993	96	2008	111	15
42	Vinkovci	Gunja	Trizlovi-Rastovo	0,25	1998	69	2008	79	10
II-G-20 – sastojine hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom u mikroudubinama (niza)									
<i>II-G-20 – stands of pedunculate oak with Genista elata in microdepressions</i>									
59	Vinkovci	Strizivojna	Merolino	0,25	1997	64	2009	76	12
61	Vinkovci	Strizivojna	Merolino	0,36	1997	96	2009	108	12
62	Vinkovci	Stari Mikanovci	Muško ostrvo	0,36	1997	105	2009	117	12
75	Nova Gradiška	Nova Gradiška	Podložje	0,36	2000	75	2009	84	9
78	Nova Gradiška	Nova Gradiška	Podložje	0,36	2000	93	2009	102	9

kao i u prvoj izmjeri snimljena dva unakrsna prsna promjera, te im je ponovno procijenjena osutost krošnje. U obje je izmjere procjenu oštećenosti krošnje obavio isti procijenitelj, čime je velikim dijelom eliminiran utjecaj razlika do kojih može doći zbog subjektivne procjene osutosti krošnje među različitim procijeniteljima (Redfern i Boswell 2004).

Sve trajne pokusne plohe nalaze se u odsjecima u kojima se redovito gospodari. S jedne strane to predstavlja prednost, jer stanje sastojina na ploham odgovara stanju u normalno gospodarenim lužnjakovim sastojinama, dok je problem bio što se prilikom uobičajenih zahvata prorjeda i/ili doznake i sječe oštećenih i odumrlih stabala nije vodila evidencija o posječenim stablima na ploham. Stoga su iz službenih evidencija za istraživanje površine izdvojeni podaci o posječenom obujmu hrasta lužnjaka razvrstani prema tipu sječe u razdoblju između dvije izmjere za svaki odsjek u kojemu su se nalazile plohe. Utvrđeno je da se u šest od 13 ploha preko 95 % posječenog obujma hrasta lužnjaka odnosilo na oštećena i odumrla stabla, pa su sva lužnjakova stabla na tim ploham kojih nije bilo u drugoj izmjeri svrstana u stupanj 4 oštećenosti – odumrla stabla. Za preostale plohe u kojima se udio oštećenih i odumrlih stabala u ukupno posječenom obujmu lužnjaka kre-

tao od 0 do 60 %, status stabala u drugoj izmjeri metodološki je određen na sljedeći način. Za stabla koja su u prvoj izmjeri bila procijenjena u stupnjeve 0 i 1 (vitalna stabla) pretpostavili smo da su posječena u prorjedi, pa smo ih isključili iz analize dinamike oštećenosti. Za stabla koja su u prvoj izmjeri bila procijenjena kao značajno oštećena (stupnjevi 2 i 3) pretpostavili smo da je oštećenost krošnje uznapredovala, pa su posječena kao oštećena ili odumrla stabla, te smo im dodijelili stupanj oštećenosti 4. Kod toga su korišteni i drugi podaci prikupljeni tijekom mjerenja, kao što su npr. kvaliteta debela i opaske mjeritelja o mehaničkim oštećenjima debela, teklinama i sl., čime je dodatno podignuta razina sigurnosti u određivanju statusa stabla.

Kako je postavljanje i izmjera trajnih pokusnih ploha vremenski zahtjevan i radno intenzivan postupak, ni prvu ni drugu izmjeru nije bilo moguće izvesti unutar jedne godine, posebice stoga što je procjenu oštećenosti krošanja moguće obavljati samo u drugoj polovici vegetacijskoga razdoblja. To je rezultiralo različitim intervalima između dvije izmjere na pojedinim ploham. Za procjenu utjecaja oštećenosti krošnje na prirast sastojine koristili smo prirast temeljnice u promatranom razdoblju koji smo trebali ujednačiti s obzirom na različite intervale izmjera. Za svako je stablo

izračunat prirast temeljnice, koji je podijeljen s intervalom između dvije izmjere, čime smo dobili prosječni godišnji prirast temeljnice stabla ($\text{cm}^2 \text{god}^{-1}$) za promatrano razdoblje.

Statistička obrada podataka obavljena je u programu R (Bolker 2007, Dalgaard 2002, Ritz i

Streibig 2008). Od statističkih alata korišteni su standardni postupci deskriptivne statistike, jednostavna linearna regresija, jednostavna linearna regresija uz transformaciju nezavisne varijable logaritmiranjem, te nelinearna regresija za izradu visinskih krivulja Mihajlovljevom jednadžbom.

REZULTATI S RASPRAVOM – *Results and discussion*

a) Struktura sastojina i osnovne značajke strukture krošanja stabala hrasta lužnjaka

a) *Stand structure and basic features of crown structure of pedunculate oak trees*

Struktura istraživanih sastojina i osnovne morfološke značajke istraživanih stabala hrasta lužnjaka prikazani su u tablici 2 i na slici 1. Ponovljene izmjere i procjene oštećenosti krošanja obavljene su na 8 ploha u sastojinama II-G-10 i 5 ploha u sastojinama II-G-20,

čime je obuhvaćeno 749 stabala hrasta lužnjaka u prvoj i 540 stabala u drugoj izmjeri. Prema prosječnoj starosti sastojina u drugoj izmjeri, dvije su grupe ploha gotovo istovjetne (92 i 87 godina).

Tablica 2. Osnovni podaci o strukturi sastojina i morfološkim značajkama stabala hrasta lužnjaka na ponovno mjerenim trajnim pokusnim plohama

Table 2 *Basic information on stand structure and morphological features of the pedunculate oak trees on re-measured permanent experimental plots*

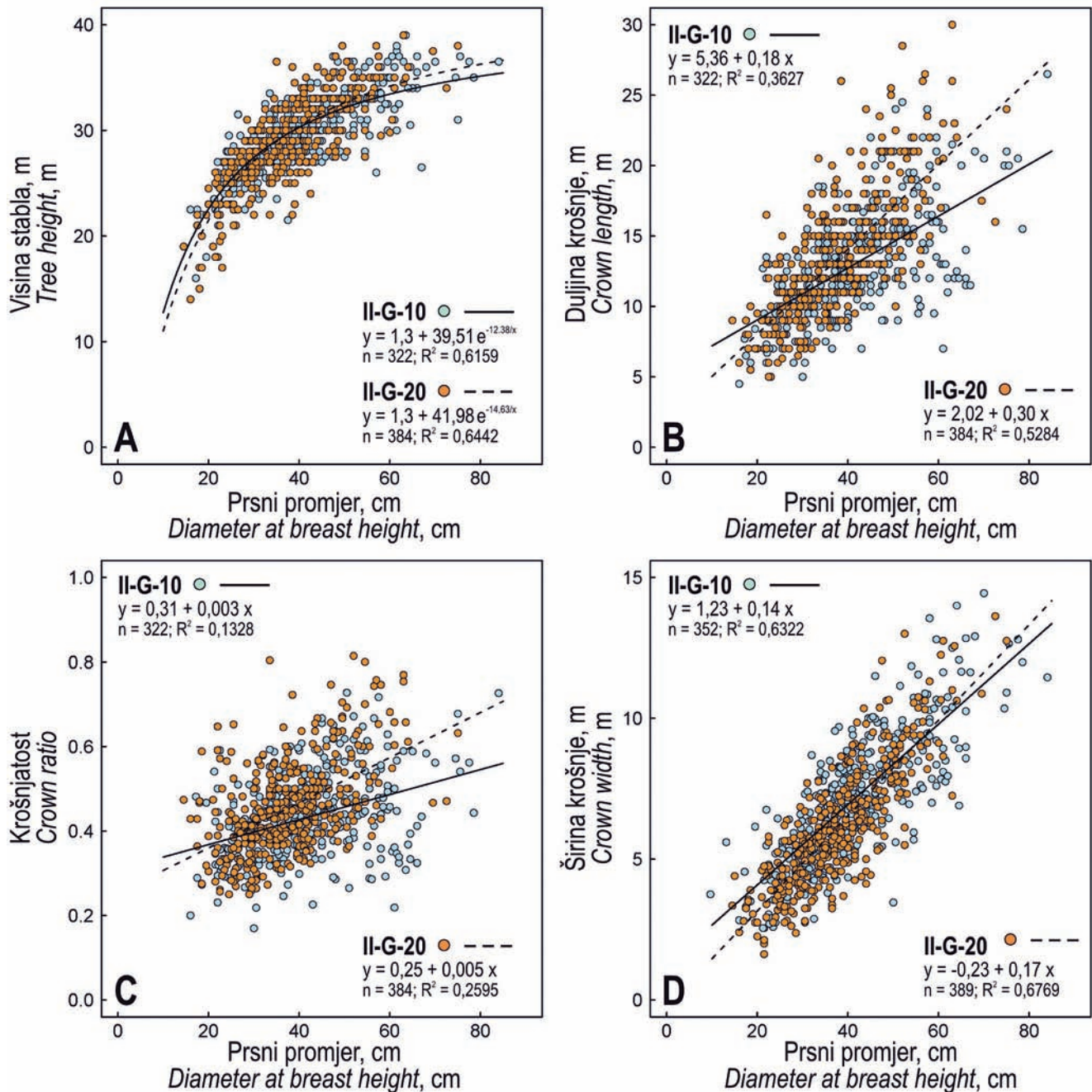
	EGT (šumska zajednica) <i>EGT (vegetation community)</i>	
	II-G-10	II-G-20
Osnovni podaci o uzorku – <i>Basic information on sample</i>		
Broj ploha, n <i>Number plots, n</i>	8	5
Prosječna starost ploha, godina <i>Average stand age, years</i>	92	87
Uzorak stabala hrasta lužnjaka u prvoj izmjeri, n <i>Number of pedunculate oak trees in first measurements, n</i>	358	391
Uzorak stabala hrasta lužnjaka u drugoj izmjeri, n <i>Number of pedunculate oak trees in second measurement, n</i>	262	278
Osnovni podaci o strukturi sastojina na plohama* – <i>Basic information on stand structure on plots**</i>		
Prosječni broj stabala svih vrsta drveća, n ha^{-1} <i>Average stand density, n ha^{-1}</i>	538 (314 - 832)	311 (167 - 584)
Prosječni broj stabala hrasta lužnjaka, n ha^{-1} <i>Average stand density of pedunculate oak trees, n ha^{-1}</i>	139 (83 - 260)	237 (167 - 316)
Prosječni udio hrasta u broju stabala, <i>Average share of pedunculate oak trees in total stand density,</i>	25,7 (14,8 - 36,8)	83,5 (54,1 - 100,0)
Prosječna temeljnica sastojine, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ <i>Average stand basal area, $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$</i>	31,74 (28,77 - 35,97)	29,63 (25,18 - 32,81)
Prosječni udio hrasta u temeljnici sastojine, <i>Average share of pedunculate oak trees in the total stand basal area,</i>	61,6 (48,1 - 75,2)	92,3 (77,0 - 100,00)
Prosječne veličine osnovnih morfoloških značajki stabala hrasta lužnjaka na pokusnim plohama* <i>Average values of basic morphological features of the pedunculate oak trees on plots**</i>		
Prosječni prsni promjer, cm <i>Average diameter at breast height, m</i>	43,6 (32,1 - 57,4)	38,1 (31,1 - 49,2)
Prosječna visina, m <i>Average tree height, m</i>	30,5 (26,7 - 34,9)	29,3 (26,9 - 33,3)
Prosječna širina krošnje, m <i>Average crown width, m</i>	7,4 (6,1 - 9,0)	6,2 (4,8 - 7,6)
Prosječna duljina krošnje, m <i>Average crown length, m</i>	13,6 (11,0 - 15,8)	13,6 (11,4 - 18,3)

* broj ispred zagrade predstavlja prosjek, u zagradi su navedene najmanje i najveće vrijednosti

** number in front of the parenthesis is the mean value, and within the parentheses are the minimal and maximal values

Prema osnovnim strukturnim značajkama prikazanim u tablici 1, može se vidjeti nekoliko ključnih razlika između istraživanih sastojina na gredi i u nizi. U sastojinama II-G-10 po jedinici površine nalazi se prosječno veći broj stabala svih vrsta drveća (538 ha^{-1}), ali manji broj stabala hrasta lužnjaka (139 ha^{-1}) nego u sastojinama II-G-20, gdje prosječni ukupni broj stabala iznosi 311 ha^{-1} , a broj stabala lužnjaka 237 ha^{-1} . S tim je u vezi i

prosječni udio hrasta u omjeru smjese sastojine koji u sastojinama II-G-10 iznosi 25,7 % od ukupnog broja stabala i 61,6 % temeljnice, a u sastojinama II-G-20 čak 83,5 % od ukupnog broja stabala i 92,3 % temeljnice. Srednji sastojinski prsni promjeri lužnjakovih stabala u grupi ploha II-G-10 u prosjeku su bili veći (43,6 cm) od onih zabilježenih na plohama u II-G-20 (38,1 cm).



Slika 1. Usporedba osnovnih morfoloških značajki stabala hrasta lužnjaka u dva EGT-a (II-G-10 i II-G-20). Prikazana je ovisnost: visine stabala (A), duljine krošnje (B), krošnjatosti (C) i širine krošnje (D) o prsnom promjeru stabla

Figure 1 Comparison of the crown features of pedunculata oak trees in two EGT's (II-G-10 and II-G-20) is given through the relationships of tree height (A), crown length (B), crown ratio (C), and crown width (D) over diameter at breast height

Na slici 1 prikazani su rezultati regresijskih analiza pomoću kojih je istraženo postoje li razlike u ovisno-

stima visine (slika 1A), duljine krošnje (slika 1B), krošnjatosti (slika 1C), te širine krošnje (slika 1D) o pr-

snom promjeru lužnjakovih stabala iz sastojina II-G-10 i II-G-20. Utvrđena je velika povezanost visine stabla i širine krošnje o prsnom promjeru stabla, pri čemu nema značajnih razlika između lužnjakovih stabala iz II-G-10 i II-G-20, kako glede apsolutnih iznosa, tako i glede trenda. Određene razlike ipak su evidentne u duljini krošnje i udjelu krošnje u ukupnoj visini stabla (krošnjatosti). Obje morfološke značajke pokazuju veću ovisnost o prsnom promjeru u sastojinama II-G-20, dok je ta povezanost nešto slabija u sastojinama II-G-10. Za stabla istog prsnog promjera udio krošnje u ukupnoj visini stabla veći je u sastojinama II-G-20 nego u sastojinama II-G-10, iz čega se može iščitati

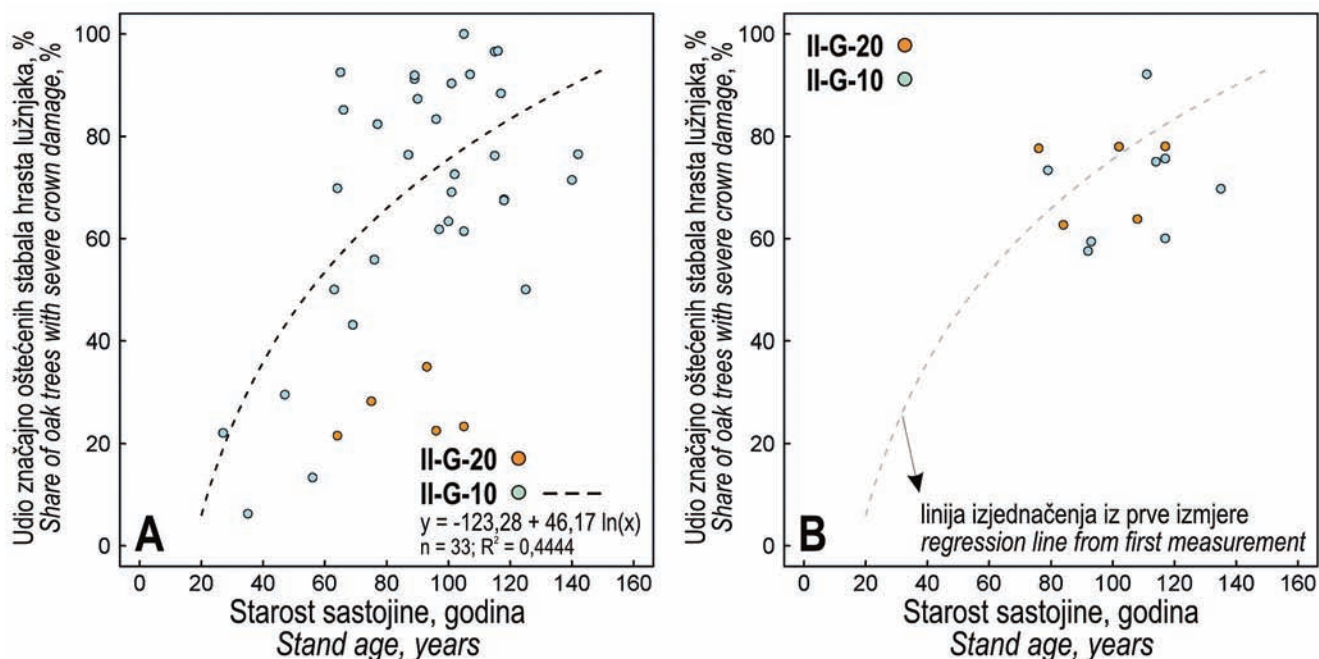
utjecaj graba iz podstojne etaže na morfološki razvoj lužnjakovih stabala u sastojinama II-G-10. Ta je razlika veća kod stabala većih dimenzija prsnog promjera. Do sada su navedene ovisnosti u dvije najvažnije lužnjakove zajednice uglavnom promatrano zasebno, na primjer za promjer krošanja (Dubravac 2003) i duljinu krošanja (Dubravac 2004) u II-G-10, ili za širine krošnja u II-G-20 (Krejčič 1988). Prikazane ovisnosti mogu se u daljnjim istraživanjima koristiti kao ulazi za druge modele, što je primjerice napravljeno za potrebe analize strukture volumena krošanja u sastojinama II-G-10 (Dubravac i dr. 2009).

b) Ovisnost stupnja oštećenosti krošanja stabala hrasta lužnjaka o starosti sastojine

b) Relationship between the crown damage of oak trees and stand age

Kako bi se ispitalo postoji li povezanost između udjela značajno oštećenih stabala hrasta lužnjaka i starosti sastojine, obrađeni su podaci iz prve izmjere na 33 trajne pokusne plohe u sastojinama na gredi. Na ovaj su

način obuhvaćene sastojine od II. do VII. dobnog razreda, odnosno pokriven je gotovo cijeli raspon starosti unutar ophodnje hrasta lužnjaka.



Slika 2. Odnos udjela značajno oštećenih stabala hrasta lužnjaka (stupnjevi oštećenosti 2, 3 i 4) na pokusnim plohama o starosti sastojine u prvoj (A) i drugoj (B) izmjeri

Figure 2 Relationship between the share of pedunculata oak trees with significant crown damage (damage classes 2, 3 and 4) on sample plots and stand age in first (A) and second (B) measurement

Na slici 2A prikazane su istraživane sastojine II-G-10 prema odnosu udjela značajno oštećenih stabala hrasta lužnjaka i starosti koju su imale u vrijeme procjene. Ovisnost je ispitana linearnom regresijom, pri čemu je nezavisna varijabla (starost) transformirana logaritmiranjem. Za usporedbu su na slici 2A prikazani i podaci oštećenosti krošanja na plohama u II-G-20 u prvoj izmjeri koji nisu korišteni za izradu modela.

Regresijskom je analizom utvrđeno da udio stabala sa značajno oštećenom krošnjom u II-G-10 raste sa sta-

rosti sastojine, pri čemu starost sastojine objašnjava oko 44 % varijabiliteta među podacima. Veliki udjeli značajno oštećenih stabala (preko 50 %) javljaju se i prije polovice ophodnje, u starostima sastojina od 70 godina.

U sastojinama II-G-20 u prvoj je izmjeri udio lužnjakovih stabala sa značajno oštećenom krošnjom bio puno manji nego u sastojinama II-G-10 iste starosti (slika 2A). Udio stabala sa značajno oštećenom krošnjom u sastojinama u nizi prosječno je iznosio 26 %, dok je u sastojinama na gredi iste starosti (od 60 do 110

godina) u prosjeku bio oko 76 %. Međutim, do druge izmjere sastojine II-G-20 po udjelu značajno oštećenih stabala hrasta lužnjaka izjednačile su se sa sastojinama II-G-10 (slika 2B), odnosno u vrlo kratkom vremenu (od oko 10 godina) došlo je do značajnog povećanja udjela značajno oštećenih stabala (sa 26 % na 71 %).

Polovica ophodnje, odnosno starost od oko 80 godina, već se dugo u stručnoj i znanstvenoj literaturi označava kao kritično vrijeme u razvoju lužnjakovih sastojina u kojem dolazi do početka odumiranja. Na uzorku od oko 20 000 ha lužnjakovih sastojina Spačvanskog bazena također je pokazano da u skladu s time i obujam sječe oštećenih i odumrlih stabala naglo raste nakon starosti od 80 godina (Dubravac i Dekanić 2009). Unatoč tomu što su ovdje za analizu korištene

sastojine iz različitih dijelova lužnjakovog areala u Hrvatskoj i procjene oštećenosti krošanja iz različitih godina, ipak se pokazala dosta čvrsta ovisnost udjela značajno oštećenih stabala o starosti sastojine i porast oštećenosti krošanja nakon polovice ophodnje. No, kao i u podacima o kretanju obujma sječe odumrlih stabala (Dubravac i Dekanić 2009) i ovdje postoji dosta velika varijacija među sastojinama iste starosti. Zbog toga se s velikom sigurnošću može reći da se snižavanjem (ili podizanjem) ophodnje za sve lužnjakove sastojine, uzimajući starost kao jedini kriterij uz istovremeno zanemarivanje stvarnoga stanja svake pojedine sastojine, ne može postići značajniji napredak u zaustavljanju odumiranja lužnjaka.

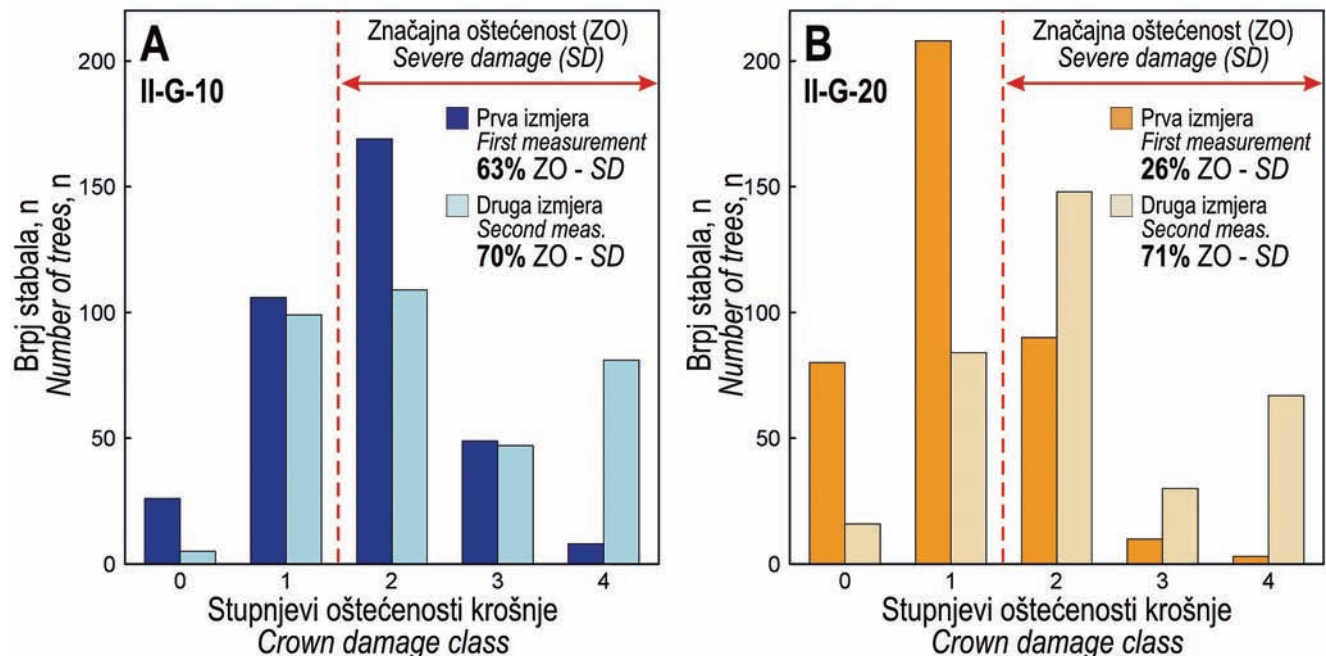
c) Dinamika oštećenosti krošanja stabala hrasta lužnjaka između dvije izmjere

c) *Crown damage dynamics of pedunculate oak trees between the two measurements*

Na slici 3 prikazane su distribucije broja stabala hrasta lužnjaka prema stupnjevima oštećenosti krošanja u dvije izmjere. U sastojinama na gredi (Slika 3A) u prvoj je izmjeri 63 % stabala svrstano u značajno oštećena stabla. Najviše se stabala nalazilo u stupnju 2 koji predstavlja stupanj s najvećim rasponom oštećenosti krošnje (od 26 do 60 %). U drugoj izmjeri postotak značajno oštećenih stabala nešto se povećao (70 %) ponajviše zahvaljujući velikom povećanju zastupljenosti stupnja 4, odnosno odumrlih stabala, te smanjenju broja stabala u stupnjevima 0 i 2. U sastojinama u nizi (slika 3B) u prvoj je izmjeri utvrđeno 26 % stabala sa značajnim oštećenjem krošnje. Međutim do druge je

izmjerne smanjen udio vitalnih stabala (stupnjevi 0 i 1), a povećan udio značajno oštećenih stabala (stupnjevi 2, 3 i 4) pa se udio stabala sa značajno oštećenom krošnjom popeo na 71 %. Iako su se po udjelu značajno oštećenih stabala sastojine II-G-10 i II-G-20 izjednačile u drugoj izmjeri, trenutačno je stanje ipak nešto povoljnije u sastojinama II-G-20 zbog većeg broja stabala u stupnju 2 i manjeg broja stabala u stupnju 3.

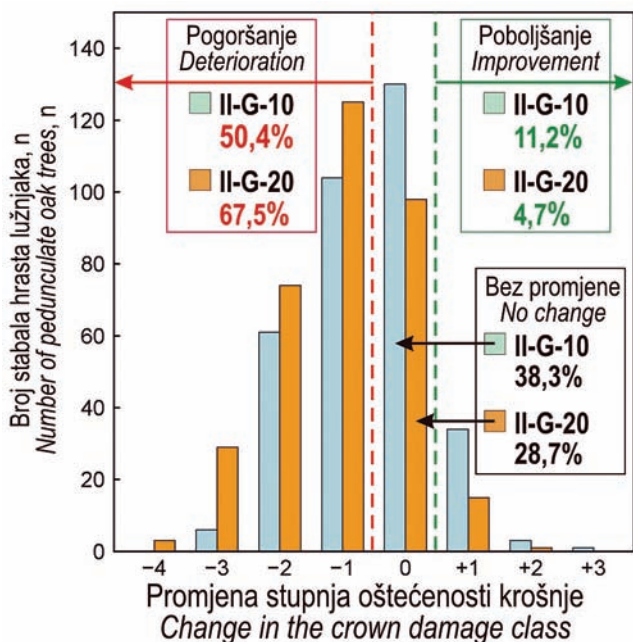
Dinamika oštećenosti krošanja istražena je promatrajući smjerove i intenzitete promjene stupnjeva oštećenosti pojedinih stabala između dvije izmjere (slika 4). Stabla su razvrstana u distribucije prema intenzitetu i smjeru promjene oštećenosti krošnje, koja je dobivena



Slika 3. Distribucije broja stabala hrasta lužnjaka prema stupnjevima oštećenosti krošnje u dvije izmjere za EGT-e II-G-10 (A) i II-G-20 (B)

Figure 3 Distribution of pedunculate oak trees according to the crown damage classes in two measurements for forest types II-G-10 (A) and II-G-20 (B)

tako da je od stupnja oštećenosti u drugoj izmjeri oduzet stupanj oštećenosti u prvoj izmjeri. Stabla koja su zadržala isti stupanj oštećenosti tako su dobila oznaku 0, stabla kojima se oštećenost krošnje pogoršala za jedan ili više stupnjeva nalaze se lijevo (-1 do -4), a stabla kojima se popravilo zdravstveno stanje krošnje desno (+1 do +3) od nule. Promjene stupnja oštećenosti krošnje uglavnom su se kretale u smjeru pogoršanja zdravstvenoga stanja,

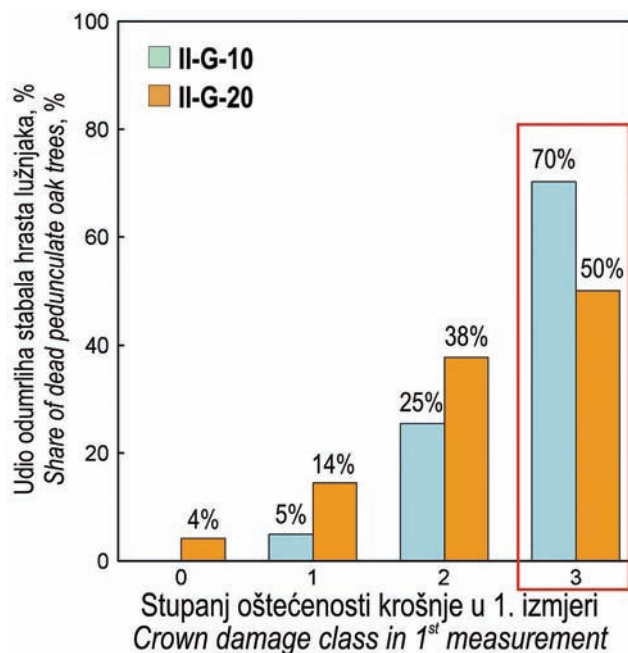


Slika 4. Distribucije broja stabala hrasta lužnjaka prema intenzitetu promjene stupnja oštećenosti u razdoblju između dvije izmjere

Figure 4 Distribution of pedunculate oak trees by the rate of changes of crown damage classes in the period between the two measurements

Kao što je već navedeno, oštećenost krošnje predstavlja ključni kriterij po kojemu se za sječu doznajuju odumiruća stabla (Prpić 1992, Anon. 2006A, Anon. 2007, Anon. 2009). Glede toga, zanimalo nas je koliko je stabala iz pojedinog stupnja oštećenja krošnje u prvoj izmjeri, do druge izmjere prešlo u stupanj 4, odnosno odumrlo. Postotni iznosi odumrlih stabala po inicijalnim stupnjevima oštećenosti krošnje prikazani su na slici 5. Najveći je intenzitet odumiranja zabilježen u stupnju 3, odnosno među stablima oštećenosti krošnje preko 60 %. U tom je stupnju intenzitet odumiranja bio veći u sastojinama II-G-10 (70 %) nego u sastojinama II-G-20 (50 %), na što je mogao utjecati i relativno mali broj stabala koja su u prvoj izmjeri u sastojinama II-G-20 bila svrstana u stupanj 3 (slika 3B). Naglo pogoršanje oštećenosti krošnja koje je zabilježeno u sastojinama II-G-20 vidljivo je kroz veće intenzitete odumiranja u ostalim stupnjevima (0, 1, i 2). Međutim, ako se promatra generalni trend povećanja intenziteta odumiranja s povećanjem oštećenja krošnje, može se vidjeti da je situacija u oba promatrana EGT-a vrlo slična.

što je puno izraženije u sastojinama II-G-20. Kod 50,4 % stabala u II-G-10 i 67,5 % stabala u II-G-20 zabilježeno je pogoršanje oštećenosti krošnje uglavnom za jedan i nešto manje za dva stupnja. Isti stupanj oštećenosti zadržalo je 38,3 % stabala u II-G-10 i 28,7 % stabala u II-G-20. Smanjenje oštećenja krošnja, odnosno poboljšanje vitaliteta zabilježeno je u samo 11,2 % stabala u II-G-10 i tek 4,7 % u II-G-20.



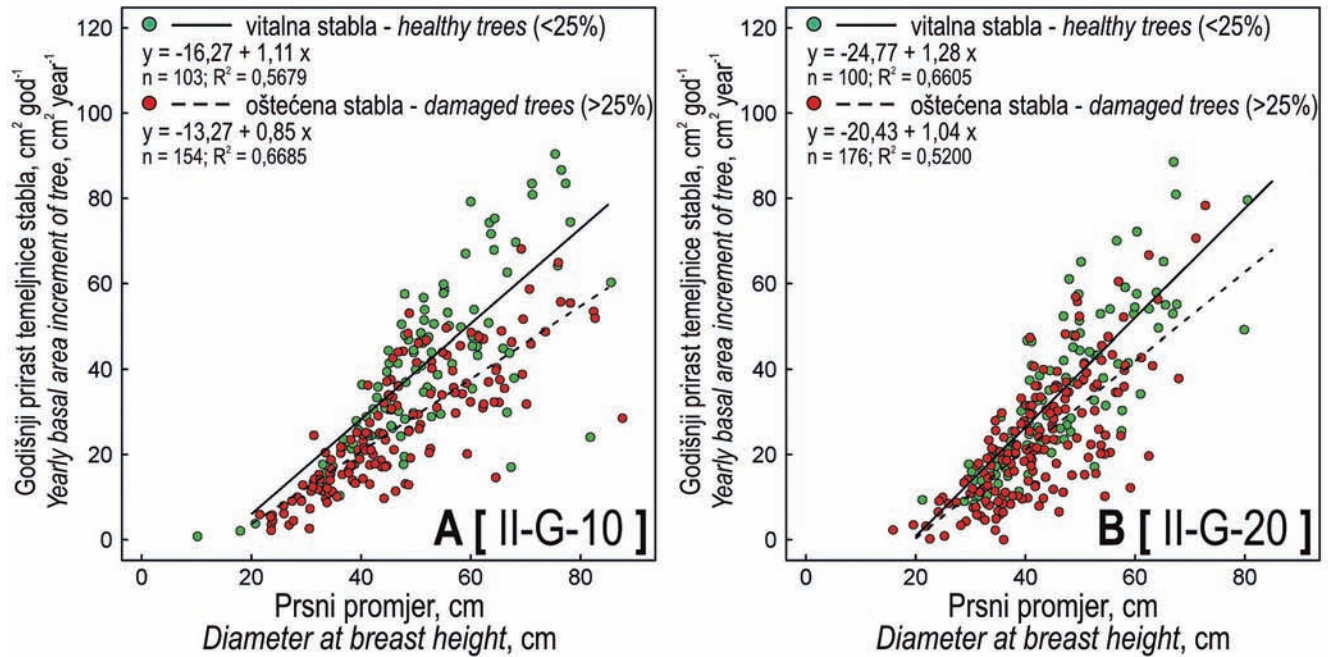
Slika 5. Prikaz udjela stabala pojedinih stupnjeva oštećenosti koja su odumrla do 2. izmjere

Figure 5 Share of pedunculate oak trees from initial crown damage classes that have died during the monitoring period

Uzimajući u obzir sve rezultate stanja i dinamike oštećenosti krošnja, općenito se može reći da postoje velike sličnosti između dva promatrana EGT-a. Po udjelu stabala sa značajno oštećenim krošnjama u prvoj su izmjeri sastojine II-G-20 čak bile puno boljeg vitaliteta, dok su se u drugoj izmjeri ujednačile sa sastojinama II-G-10. Generalni su trendovi promjene klase oštećenosti stabala i intenziteta odumiranja stabala po klasama oštećenosti također vrlo slični. Ovi su rezultati naizgled u suprotnosti s nekim do sada objavljenim radovima i opće prihvaćenim uvjerenjima da je intenzitet odumiranja veći u sastojinama u nizi. Međutim, postoji i niz istraživanja u kojima su dobiveni slični rezultati. Na primjer, pomoću metoda daljinskih istraživanja u Spačvanjskom bazenu Kalafadžić i dr. (1993) utvrdili su najveću oštećenost stabala u sastojinama hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom i rastavljenim šašem u nizi. Međutim, u istom istraživanju najmanje su oštećena lužnjakova stabla u sastojinama hrasta lužnjaka i velike žutilovke s žestiljem, koja se također po mikrotopografskom položaju nalazi u nizi, dok su sastojine na gredi po

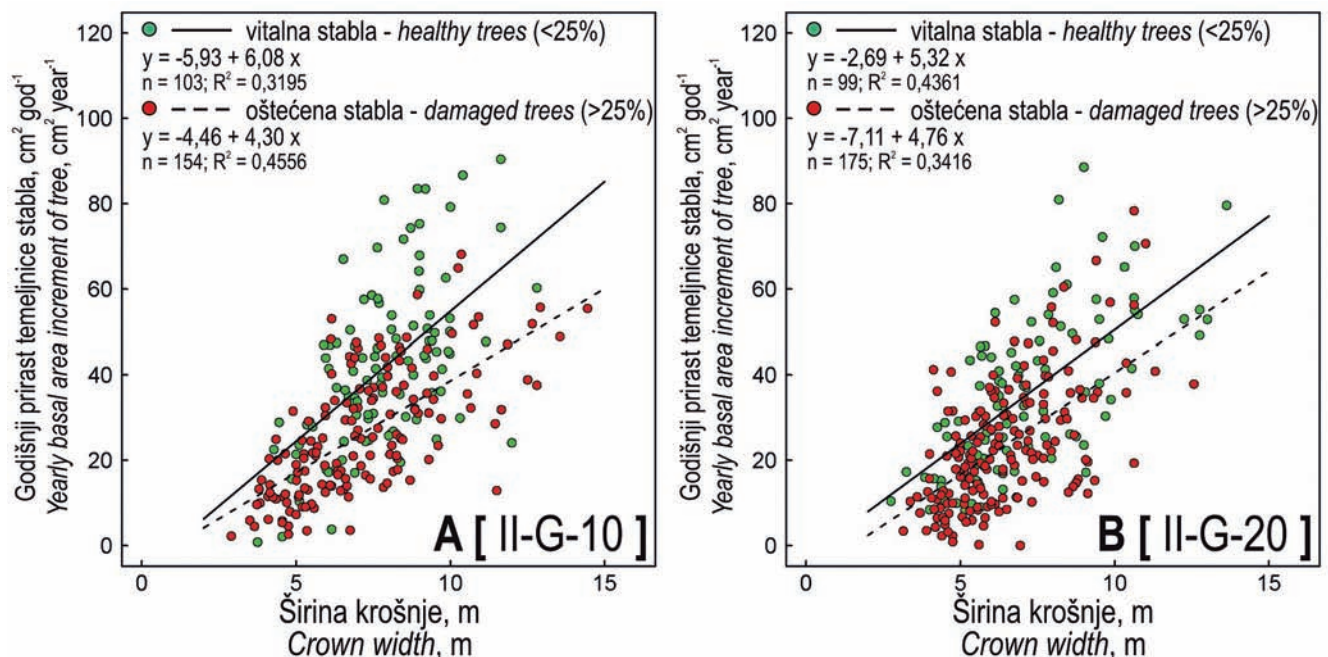
stupnju oštećenosti negdje između. Dubravac i Dekanić (2009) također na području Spačvanskog bazena pronalaze najveće, ali i najmanje intenzitete sječe u sastojinama u nizi, odnosno veliko kolebanje intenziteta, ali bez statistički značajnih razlika u iznosima obujma sječe oštećenih i odumrlih lužnjakovih stabala po jedinici

površine između sastojina na gredi i u nizi. Isto tako Teslak (2010) utvrđuje da ne postoji statistički značajan utjecaj mikrostanišnih varijabli na intenzitet odumiranja stabala hrasta lužnjaka, te zaključuje da je intenzitet odumiranja podjednak u obje šumske zajednice. Međutim, zbog činjenice da je u sastojinama II-G-20 u samo



Slika 6. Ovisnost prosječnog godišnjeg prirasta temeljnice u promatranom razdoblju o prsnom promjeru vitalnih i značajno oštećenih stabala u EGT-ima II-G-10 (A) i II-G-20 (B)

Figure 6 Relationship between the average yearly basal area increment during the measurement period and diameter at breast height for healthy and severely damaged trees in EGT's II-G-10 (A) and II-G-20 (B)



Slika 7. Ovisnost prosječnog godišnjeg prirasta temeljnice u promatranom razdoblju o širini krošnje vitalnih i značajno oštećenih stabala u EGT-ima II-G-10 (A) i II-G-20 (B)

Figure 7 Relationship between the average yearly basal area increment and crown width of tree during the measurement period according to crown damage for EGT's II-G-10 (A) and II-G-20 (B)

10-ak godina došlo do vrlo velikog pogoršanja u stanju oštećenosti krošnja, pitanje je u kojem će se smjeru dalje razvijati ove sastojine. Samo se nastavkom motrenja može razlučiti radi li se o velikim kolebanjima vitaliteta

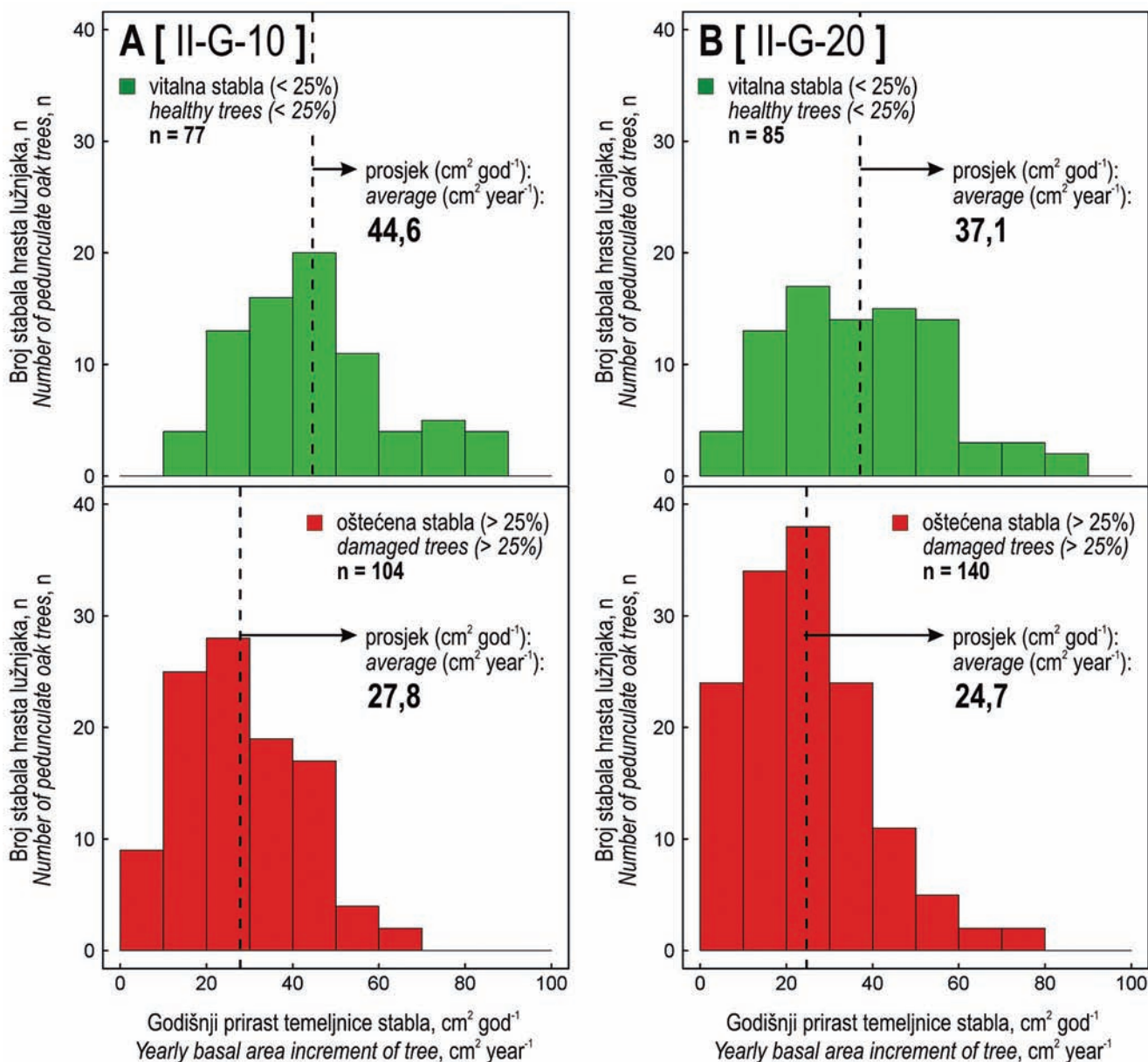
uslijed veće osjetljivosti sastojina u nizi (Dekanić i dr. 2009) ili je ovdje uhvaćen početak ireverzibilnoga procesa propadanja sastojina.

d) Utjecaj stupnja oštećenosti krošnje na prirast temeljnice stabala hrasta lužnjaka

d) *Effect of crown damage severity on the basal area increment of pedunculate oak trees*

Za analizu utjecaja oštećenja krošnje na prirast temeljnice sva su stabla hrasta lužnjaka unutar pojedinog EGT-a grupirana prema procjeni osutosti krošnje u drugoj izmjeri u dvije klase: vitalna stabla (< 25 % oštećenosti krošnje) i značajno oštećena stabla (> 25 % oštećenosti krošnje). Prosječni godišnji prirast temeljnice stabala ($\text{cm}^2 \text{god}^{-1}$) tijekom promatranoga razdoblja

analiziran je na tri razine. Prvo su regresijskim analizama ispitane ovisnosti prirasta temeljnice vitalnih i značajno oštećenih stabala o prsnom promjeru iz druge izmjere (slika 6) te širini krošnje iz prve izmjere (slika 7). Zatim su za daljnju analizu izdvojena lužnjakova stabla s ploha koje su se u drugoj izmjeri nalazile u V. (starost sastojine 81–100 godina) i VI. dobnom razredu



Slika 8. Distribucija vitalnih i značajno oštećenih stabala prema godišnjem prirast temeljnice prikazane zajedno za sastojine V. i VI. dobno razreda u EGT II-G-10 (A) i II-G-20 (B)

Figure 8 Distribution of healthy and severely damaged trees according to yearly basal area increment in stands of V. and VI. age class combined in EGT's II-G-10 (A) and II-G-20 (B)

(starost sastojine 101–120 godina), te je izrađena distribucija broja vitalnih i oštećenih stabala prema razredima godišnjeg prirasta temeljnice širine 10 cm² (slika 8). Na kraju je dan prikaz medijana godišnjeg prirasta temeljnice vitalnih i značajno oštećenih stabala razrađen po dobnim razredima (V. i VI.) i EGT-ima (slika 9).

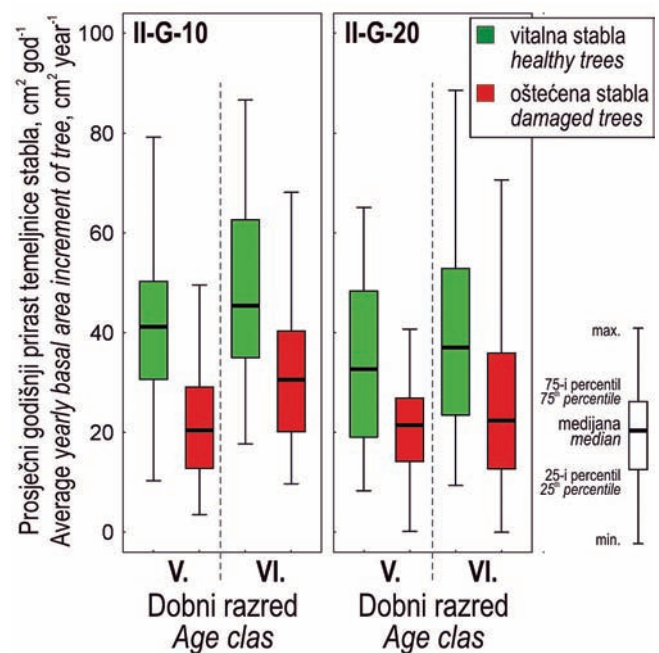
Regresijskim analizama ovisnosti prirasta temeljnice o prsnom promjeru dobiveni su jaki koeficijenti determinacije kako za vitalna, tako i za značajno oštećena stabla u oba EGT-a (slika 6). To je bilo i očekivano, jer prsni promjer stabla, kao varijabla koja u sebi integrira kompetitivnu sposobnost stabla, predstavlja vrlo dobar prediktor prirasta koji se koristi u mnogim modernim konceptima modeliranja rasta i razvoja šumskih ekosustava (npr. Pretzsch 2009). U oba EGT-a prirast temeljnice značajno oštećenih stabala manji je od prirasta vitalnih stabala za isti prsni promjer, pri čemu se te razlike povećavaju s povećanjem prsnog promjera stabla. U sastojinama u nizi razlike su nešto manje nego u sastojinama na gredi. Također treba napomenuti da je prsni promjer značajnog dijela oštećenih stabala u oba EGT-a manji od prosječnog prsnog promjera.

Kako je već pokazano na slici 1, širina krošnje pokazuje pozitivnu korelaciju s prsnim promjerom stabla. Stoga i ovisnost prirasta temeljnice o širinama krošnja (slika 7) pokazuje generalno iste trendove kao ovisnost prirasta temeljnice o prsnom promjeru. Smanjenje prirasta temeljnice povećava se s povećanjem širine krošnje, što je jače izraženo u sastojinama II-G-10, dok se ta razlika u sastojinama II-G-20 kreće podjednako s povećanjem širine krošnja.

Na slici 8 prikazane su distribucije vitalnih i značajno oštećenih stabala u sastojinama V. i VI. dobnog razreda prema razredima prirasta temeljnice širine 10 cm². Razlike u oba EGT-a ponajprije se očituju u različitim oblicima distribucija vitalnih i značajno oštećenih stabala. Kod značajno oštećenih stabala distribucije pokazuju puno veću lijevu skošenost u odnosu na distribucije vitalnih stabala. Prosječni prirast temeljnice vitalnih stabala nešto je manji u sastojinama u nizi (37,1 cm² god⁻¹) u odnosu na sastojine na gredi (44,6 cm² god⁻¹). Usporedbom vrijednosti godišnjih prirasta temeljnice utvrđeno je da je u sastojinama II-G-10 prosječni prirast značajno oštećenih stabala (27,8 cm² god⁻¹) za 37,6 % manji od prosječnog prirasta vitalnih stabala (44,6 cm² god⁻¹). U sastojinama II-G-20 razlika između prosječnog godišnjeg prirasta temeljnice vitalnih (37,1 cm² god⁻¹) i značajno oštećenih (24,7 cm² god⁻¹) stabala iznosila je 33,4 %, slično kao i u sastojinama na gredi.

ZAKLJUČCI – Conclusions

Prema izrađenom linearnom modelu ovisnosti udjela značajno oštećenih stabala o starosti u sastojinama na gredi, do velikog povećanja značajno oštećenih stabala dolazi već i prije polovice ophodnje, u starosti sastojine



Slika 9. Medijane prosječnog godišnjeg prirasta temeljnice vitalnih i značajno oštećenih stabala hrasta lužnjaka u V. (81–100 godina) i VI. (101–120 godina) dobnom razredu u EGT-ima II-G-10 i II-G-20

Figure 9 Medians of average yearly basal area increment of healthy and severely damaged trees in V. and VI. age class for EGT's II-G-10 and II-G-20

Na slici 9 prikazane su medijane prosječnih godišnjih prirasta temeljnice vitalnih i značajno oštećenih stabala hrasta lužnjaka za sastojine V. (81 – 100 godina starosti) i VI. (101–120 godina starosti) dobnog razreda. U oba istraživana EGT-a prosječni godišnji prirast temeljnice vitalnih stabala veći je u VI. nego u V. dobnom razredu, ponajviše zahvaljujući većim prsnim promjerima stabala u sastojinama VI. dobnog razreda. Prirast temeljnice vitalnih stabala u sastojinama u nizi manji je od prirasta zdravih stabala u sastojinama na gredi kako u V., tako i u VI. dobnom razredu. U oba EGT-a postoji značajna razlika između medijana prirasta temeljnice vitalnih i oštećenih stabala, odnosno u oba je promatrana dobnog razreda unutar pojedinog EGT-a prirast temeljnice značajno oštećenih stabala manji od prirasta vitalnih stabala. Zanimljivo je da su prirasti temeljnice značajno oštećenih stabala u oba EGT-a gotovo istovjetni u V. dobnom razredu, a tek neznatno različiti u VI. dobnom razredu. Ovaj rezultat također ukazuje na određene sličnosti i zajednički kompleks utjecajnih čimbenika u procesu odumiranja pojedinačnih stabala hrasta lužnjaka u sastojinama na gredi (II-G-10) i u nizi (II-G-20).

od oko 70 godina. Model objašnjava oko 44 % varijacije udjela značajno oštećenih stabala, što znači da osim starosti sastojine postoji još cijeli niz čimbenika koji utječu na vitalitet stabala hrasta lužnjaka. U skladu s time,

može se zaključiti da snižavanje ophodnje za sve sastojine hrasta lužnjaka, bez uzimanja u obzir stvarnoga stanja pojedinih sastojina, ne može značajno utjecati na smanjenje intenziteta odumiranja stabala.

U prvom je izmjeri vitalitet krošanja stabala hrasta lužnjaka bio puno povoljniji u sastojinama II-G-20, gdje je evidentirano samo 26 % značajno oštećenih stabala. Do druge izmjere nije bilo velike promjene u udjelu značajno oštećenih stabala u sastojinama II-G-10 (63 % u prvom i 70 % u drugom izmjeri), ali je došlo do povećanja udjela značajno oštećenih stabala u sastojinama II-G-20 (sa 26 % na 71 %) čime su se izjednačile sa sastojinama II-G-10.

U oba se EGT-a dinamika oštećenosti krošanja pojedinih stabala uglavnom kretala u smjeru pogoršanja stupnja oštećenosti, s izraženijim negativnim trendom u sastojinama II-G-20. Udio stabala koja su zadržala isti stupanj oštećenosti ili im se stanje popravilo u sastojinama II-G-10 iznosi 49,5 %, dok je u sastojinama II-G-20 manji i iznosi 33,4 %.

Intenzitet odumiranja stabala po stupnjevima oštećenosti krošanja iz prve izmjere najveći je u stupnju 3, odnosno među stablima čija oštećenost krošnje prelazi 60 %. Čak je 70 % stabala u II-G-10 i 50 % stabala u II-G-20 koja su u prvom izmjeri svrstana u stupanj 3, odumrlo do druge izmjere. Ovaj rezultat predstavlja daljnju potvrdu opravdanosti korištenja oštećenosti krošnje kao pokazatelja budućeg razvoja stabala hrasta lužnjaka.

Oštećenost krošnje značajno utječe na smanjenje godišnjeg prirasta temeljnice stabala hrasta lužnjaka. U sastojinama V. i VI. dobnog razreda obje šumske zajednice, stabla sa značajno oštećenom krošnjom imala su i značajno manji godišnji prirast temeljnice u usporedbi sa zdravim stablima sličnih prsnih promjera i promjera krošnje. Gubitak prirasta izraženiji je kod stabala većih prsnih promjera i širina krošnje. Prosječni godišnji prirast temeljnice značajno oštećenih stabala za 37,6 % je manji u sastojinama II-G-10, a za 33,4 % u sastojinama II-G-20 od prosječnog godišnjeg prirasta temeljnice vitalnih stabala.

S obzirom na udio oštećenih stabala, intenzitet i smjer dinamike oštećenosti između dvije izmjere, i utjecaj oštećenosti krošnje na prirast temeljnice utvrđene su velike sličnosti u sastojinama na gredi i u nizi. Ovi rezultati upućuju na zajednički kompleks barem dijela utjecajnih čimbenika u procesu odumiranja pojedinačnih stabala hrasta lužnjaka u sastojinama u nizi i na gredi. Međutim, zabrinjava činjenica da je u sastojinama II-G-20 unutar jednog desetljeća utvrđeno povećanje udjela značajno oštećenih lužnjakovih stabala s 26 % na 70 %, pa se postavlja pitanje u kojem će se smjeru dalje razvijati ove sastojine. Samo se nastavkom motrenja i proširenjem istraživanja može razlučiti radi li se o velikim oscilacijama vitaliteta stabala hrasta lužnjaka u ovoj šumskoj zajednici zbog njene veće osjetljivosti na stanišne i klimatske promjene, ili se ipak radi o početku nepovratnoga procesa propadanja sastojina.

LITERATURA – References

- Anić, I., M. Oršanić, M. Detelić, 2002: Revitalizacija degradiranoga ekosustava nakon sušenja hrasta lužnjaka – primjer šume Kalje. Šumarski list, CXXVI (11–12): 575–587.
- Anonymous, 2006A: Pravilnik o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. Narodne novine 116/06, Zagreb.
- Anonymous, 2006B: Šumskogospodarska osnova područja RH, 2006.–2015. “Hrvatske šume” d.o.o. Zagreb.
- Anonymous, 2007: Pravilnik o izmjenama Pravilnika o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. Narodne novine 74/07, Zagreb.
- Anonymous, 2009: Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. Narodne novine 55/09, Zagreb.
- Anonymous, 2010: Europe’s forests 1985–2010 – 25 years of monitoring forest condition by ICP Forests. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests), Institute for World Forestry, str. 12, Hamburg.
- Baričević, D., 1999: Ekološko-vegetacijske promjene u šumama hrasta lužnjaka na području G. J. “Žutica”. Šumarski list, CXXIII (1–2): 17–28.
- Bezak, K., D. Cestar, V. Hren, Z. Kovačević, J. Martinović, J. Pelcer, 1989: Uputstvo za izradu karte ekološko-gospodarskih tipova brdskog i nizinskog područja (II) SR Hrvatske. Rad. Šum. inst. 24 (79): 1–119.
- Bigler, C., H. Bugmann, 2004: Assessing the performance of theoretical and empirical tree mortality models using tree-ring series of Norway spruce. Ecological Modelling, 174: 225–239.
- Bolker, B., 2007: Ecological models and data in R. Princeton University Press, str. 516, Princeton and Oxford, UK
- Bussotti, F., M. Ferretti, 1998: Air pollution, forest condition and forest decline in Southern Europe: an overview. Environmental pollution, 101: 49–65.
- Dalgaard, P., 2002: Introductory statistics with R. Springer, str. 284, New York.
- de Vries, W., J. M. Klap, J.W. Erisman, 2000: Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part I: hypotheses and ap-

- proach to the study. *Water, Air, and Soil Pollution*, 119: 317–333.
- Dekanić, S., T. Dubravac, I. Pilaš, K. Indir, 2009: Dinamika sušenja hrasta lužnjaka u Spačvanskom bazenu od 1996. do 2006. godine s obzirom na dob i fitocenološku pripadnost sastojine. U: S. Matić, I. Anić (Ur.), Zbornik radova sa znanstvenog skupa Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, str. 55–74, Zagreb.
- Dobbertin, M., 2001: Crown defoliation improves tree mortality models. *Forest Ecology and Management*, 141 (3): 271–284.
- Donaubauer, E., 1998: Die Bedeutung von Krankheitserregern beim gegenwärtigen Eichensterben in Europa – eine Literaturübersicht. *Eur. J. For. Path* 28: 91–98.
- Drobyshev, I., H. Linderson, S. Kerstin, 2007: Relationship between crown condition and tree diameter growth in Southern Swedish oaks. *Environ. Monit. Assess*, 128, 61–73.
- Dubravac, T., 2002: Zakonitosti razvoja strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić em. Rauš 1969. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 196, Zagreb.
- Dubravac, T., 2003: Dinamika razvoja promjera krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. *Rad. Šumar. inst.* 38 (1): 35–54.
- Dubravac, T., 2004: Dinamika razvoja dužina krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. *Rad. Šumar. inst.* 39 (1): 37–51.
- Dubravac, T., S. Dekanić, 2009: Struktura i dinamika sječe suhих i odumirućih stabala hrasta lužnjaka u Spačvanskom bazenu od 1996. do 2006. godine. *Šumarski list*, CXXXIII (7–8): 391–405.
- Dubravac, T., S. Dekanić, B. Vrbek, D. Matošević, V. Roth, T. Jakovljević, T. Zlatanov, 2009: Crown volume in forest stands of pedunculate oak and common hornbeam. *Periodicum Biologorum*, 111 (4): 479–485.
- Eichhorn, J., P. Roskams, M. Ferretti, V. Mues, A. Szepesi, D. Durrant, 2010: Visual assessment of crown condition and damaging agents - Manual Part IV. In: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, str. 49 Hamburg. [<http://www.icp-forests.org/Manual.htm>]
- Führer, E., 1998: Oak decline in Central Europe: A synopsis of hypotheses. USDA Forest Service General Technical Report NE-247: 7–24.
- Gaertig, T., H. Schack-Kirchner, E. E. Hildebrand, K. v. Wilpert, 2002: The impact of soil aeration on oak decline in southwestern Germany. *Forest Ecology and Management*, 159: 15–25.
- Golubović, U., 1984: Istraživanje ekonomskih posljedica truljenja i bonificiranja bijeljike pri sušenju hrasta lužnjaka (*Q. robur* L.) u šumama SR Hrvatske. *Šumarski list*, CVIII (9–10): 413–426.
- Harapin, M., M. Androić, 1996: Sušenje i zaštita šuma hrasta lužnjaka. U: Klepac, D. (ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i Hrvatske šume, 227–256.
- Kalafadžić, Z., V. Kušan, Z. Horvatić, R. Pernar, 1993: Oštećenost šuma i neki čimbenici okoliša u šumskom bazenu “Spačva”. *Šumarski list*, CXVII (6–8): 281–292.
- Kapac, D., 2006: Utjecaj intenziteta sušenja, mikroreljefa i savske poplavne vode na stanje i strukturu sastojina hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici “Žutica”. *Šumarski list*, CXXX (9–10): 425–443.
- Klap, J. M., J. H. O. Voshaar, W. de Vries, J. W. Erisman, 2000: Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe – Part IV: statistical analysis of relationships. *Water, Air, and Soil Pollution*, 119: 387–420.
- Klepac, D., 1959: Izračunavanje gubitka na prirastu u sastojinama koje je napao gubar (*Lymantria dispar*). *Šumarski list*, 83 (8–9): 280–290.
- Klepac, D., I. Spajić, 1965: Utjecaj nekih defolijatora na debljinski prirast hrasta lužnjaka. *Šumarski list*, 89 (3–4): 93–101.
- Kraljić, B., U. Golubović, 1980: Ekonomske posljedice sušenja hrasta lužnjaka (*Q. robur* L.). *Šumarski list*, CIV (1–2): 3–15.
- Krejčić, V., 1988: Prirast širine krošanja hrasta lužnjaka u zajednici hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom (*Genisto elatae – Quercetum roboris* Horv. 1938) na području Hrvatske. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 60, Zagreb.
- Manion, P. D., 1991: Tree disease concepts, Prentice-Hall, Inc., str. 402, New Jersey.
- Pedersen, B.S., 1998: The role of stress in the mortality of midwestern oaks as indicated by growth prior to death. *Ecology*, 79: 79–93.
- Poršinsky, T., M. Ožura, 2006: Oštećivanje dubelih stabala pri izvoženju drva forvarderom. Nova mehanizacija šumarstva, 27: 41–49.

- Posarić, D., 2008: Obnova spačvanskih šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) oplodnim sječama – mogućnosti poboljšanja postojećeg načina rada. Šumarski list, CXXXII(1–2): 53–63.
- Potočić, N., I. Seletković, 2009: Oštećenost šuma u Hrvatskoj 2009. godine. “Hrvatske šume” d.o.o. i Hrvatski šumarski institut, str. 29, Zagreb.
- Pretzsch, H., 2009: Forest dynamics, growth and yield. Springer-Verlag, 664 str., Berlin Heidelberg.
- Prpić, B., 1992: Odabiranje oštećenih stabala za sječu i obnova sastojina opustošenih propadanjem. Šum. list CXVI (11–12): 515–522.
- Prpić, B., 1996: Propadanje šuma hrasta lužnjaka. U: Klepac, D. (ur.), Hrast lužnjak u Hrvatskoj, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i Hrvatske šume, 273–298.
- Prpić, B., A. Vranković, Đ. Rauš, S. Matić, A. Pranjić, Š. Meštrović, 1994: Utjecaj ekoloških i gospodarskih činilaca na sušenje hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Kalje šumskog gospodarstva Sisak, Glasnik za šumske pokuse 30: 361–419.
- Prpić, B., Z. Seletković, G. Žnidarić, 1994: Ekološki i biološki uzroci propadanja stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u nizinskoj šumi Turopoljski lug. Glasnik za šumske pokuse 30: 193–222.
- Redfern, D. B., R. C. Boswell, 2004: Assessment of crown condition in forest trees: comparison of methods, sources of variation and observer bias. Forest Ecology and Management, 188: 149–160.
- Ritz, C., J. C. Streibig, 2008: Nonlinear regression with R. Springer, str. 144, New York.
- Rust, S., A. Roloff, 2004: Acclimation of crown structure to drought in *Quercus robur* L. – intra- and inter-annual variation of abscission and traits of shed twigs. Basic and Applied Ecology 5 (3): 283–291.
- Tešlak, K., 2010: Utjecaj strukturnih i prostorno-vremenskih odrednica na planiranje gospodarenja šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 212, Zagreb.
- Thomas, F. M., R. Blank, G. Hartmann, 2002: Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. For. Path. 32: 277–307.
- Tikvić, I., Ž. Zečić, D. Ugarković, D. Posarić, 2009: Oštećenost stabala i kakvoća drvnih sortimenata hrasta lužnjaka na spačvanskom području. Šumarski list, CXXXIII (5–6): 237–248.
- Tikvić, I., D. Ugarković, J. Gašpar, 2011: Prostorna analiza odumiranja stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) za potrebe adaptivnoga gospodarenja šumskim ekosustavima u Hrvatskoj (*Spatial Analysis of Pedunculate Oak Mortality Rate for Adaptive Forest Ecosystem Management in Croatia*). Croatian Journal of Forest Engineering 32(1): 43–56.
- Vajda, Z., 1948: Utjecaj klimatskih kolebanja na sušenje hrastovih posavskih i donjopodravskih šuma nizinskih šuma. Institut za šumarska istraživanja Ministarstva šumarstva N. R. Hrvatske, str. 154, Zagreb.
- Wargo, P. M., 1996: Consequences of environmental stress on oak: predisposition to pathogens. Ann. Sci. For. 53: 359–368.

*SUMMARY: The crown damage of a tree has a very prominent place among the broad spectrum of factors defining the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) decline and dieback, largely due to the fact that it represents the first visible symptom of the decline in tree's vitality. Besides, crown damage is a key factor for the selection of trees with high risk of dying during the sanitary and salvage cuttings, in order to salvage high value timber that would be otherwise lost or severely degraded when the tree dies. Aim of this contribution is to investigate dynamics of crown damage of pedunculate oak trees, as well as the effect of the crown damage on tree's basal area increment during longer time period in two most important types of pedunculate oak forests in Croatia. Research was done on permanent experimental plots situated in the stands of pedunculate oak and common hornbeam (II-G-10) and stands of pedunculate oak and *Genista elata* (II-G-20). In total, 38 permanent experimental plots were used, out of which 13 were re-measured with intervals of 9 to 17 years (Table 1). In first measurement, all trees on plots were permanently tagged, and map of tree locations and crown projections was made. Trees were measured for diameter at breast height (DBH), total tree height and height to crown base. Crown length was calculated as the difference between the total tree height and height to crown base, while the crown ratio was calculated as the ratio of crown length and total tree height. From the map of horizontal crown projections the average crown width was calculated as a mean of*

the maximal and minimal crown diameters. Assessment of the crown damage was done according to the methodology of the ICP Forests Programme, whereby the trees were tallied into following five crown damage (CD) classes: 0 (< 10 % CD), 1 (11-25 % CD), 2 (26-60 % CD), 3 (61-99 % CD) and 4 (100 % CD – dead tree). For some analyses trees were further grouped into two classes: healthy trees with crown damage of 25 % and less, and severely damaged trees with crown damage over 25 %. Results from this research are, however, not comparable to the damage assessment reports of the ICP Forests because of the different sampling strategies. On 13 plots the second measurement was made in which DBH of all trees still present on the plot was recorded, and the crown damage was assessed according to the same methodology used in the previous measurement, and furthermore, by the same observer. Average basal area increment per year ($\text{cm}^2 \text{ year}^{-1}$) per tree was obtained by dividing tree's total basal area increment by the interval (number of vegetation periods) between the two measurements. Total number of oak trees analyzed was 749 and 540 in first and second measurement, respectively.

Prior to the crown damage analyses, the basic structural features of the stands on re-measured plots, as well as morphological features of pedunculate oak trees in two forest types were analyzed (Table 2 and Figure 1). Stands of the forest type II-G-20 have much larger shares of oak trees in the total number of trees, and total stand basal area compared to the type II-G-10. oak trees in both types exhibit the same relation of tree height (Figure 1A) and crown width (Figure 1D) to DBH, but the crown length (Figure 1B) and crown ratio (Figure 1C) are higher in the forest type II-G-20. Reason for this lies probably in the effect that common hornbeam trees in the lower canopy layers have on the morphological development of oak trees in the stands of II-G-10 type, while the stands in the II-G-20 have almost no sub-canopy layers.

Relationship between the share of oak trees with severe crown damage (> 25 %) and stand age was examined for the 33 plots of forest type II-G-10 spanning almost entire rotation length of pedunculate oak forests in Croatia (II. to VII. age class). Linear regression with logarithmic transformation of independent variable (stand age) was used for this analysis. According to the model, significant increase of severely damaged trees occurs after the stand age of 70 years (Figure 2A). The stands in the type II-G-20 departed significantly from the model in the first measurement, with only 26 % of severely damaged trees compared to 76 % in stands of II-G-10. By the second measurement, however, these plots also conformed to the behavior predicted by the model (Figure 2B), due to the deterioration of the overall crown condition.

Distributions of oak trees by the CD classes in two measurements (Figure 3) reveal the direction of the crown damage dynamics, which is in more detail presented in the Figure 4. In both forest types, the change in crown class of the oak trees was predominantly in the direction of the worsening crown health status. Negative trend is more pronounced in the II-G-20 forest type. According to the CD classes recorded in the first measurement (Figure 5), decline intensity was most pronounced in the CD class 3, from which 70 % and 50 % of trees in forest types II-G-10 and II-G-20, respectively, died off by the second measurement. This result provides further foundation for the use of the CD assessments in the day-to-day forestry as a reliable indicator of the tree's imminent death.

Effect of crown damage on the basal area increment of oak trees was examined through: (i) the regression analyses of basal area increment per year per tree over DBH (Figure 6) and crown width (Figure 7), comparison of distributions of healthy and severely damaged trees over basal area increment classes (Figure 8), and by comparison of median values of basal area increment of healthy and severely damaged trees by forest types and stand age classes (Figure 9). Crown damage was found to have a significant impact on the basal area increment of pedunculate oak trees, with severely damaged trees having significantly lower basal area increment compared to healthy trees of the similar dimensions. These differences were very similar for both forest types.

Key words: pedunculate oak, crown damage, stand structure, crown structure, significant crown damage, basal area increment, II-G-10, II-G-20