

UČINCI RAZLIČITIH PRISTUPA PLANIRANJA OBNOVE SASTOJINA NA GOSPODARENJE I RAZVOJ ŠUME HRASTA LUŽNJAKA – PRIMJER UREĐAJNOG RAZREDA MALENE POVRŠINE

THE EFFECTS OF DIFFERENT STAND REGENERATION PLANNING ON MANAGEMENT AND PEDUNCULATE OAK FOREST DEVELOPMENT – A SMALL SIZE MANAGEMENT CLASS CASE STUDY

Jura ČAVLOVIĆ¹, Krunoslav¹ TESLAK, Karlo BELJAN¹

Sažetak:

Planiranje budućeg gospodarenja šumama hrasta lužnjaka posebno je zahtjevno u uvjetima narušene dobne strukture šume, propadanja stabala i strukture sastojina. Izlučivanje površina (novih sastojina) s obzirom na strukturne značajke i pravodobna provedba obnove značajno je pitanje gospodarenja šumama hrasta lužnjaka. Stoga je u radu cilj istražiti učinke primjene dva suprotna pristupa rangiranja sastojina prema prioritetu za obnovu i intenzitetima obnove šume, na razvoj strukture sastojina, dobne i prostorne strukture šume, kao i na očekivano kretanje količine i vrijednosti budućih prihoda. Kao objekt istraživanja poslužila je stvarna šuma (uređajni razred hrasta lužnjaka) u gospodarskoj jedinici Opeke površine 429,4 ha (26 sastojina prosječne površine od 16,5 ha), sastavljena od sastojina starijih od 110 godina. Provedena je projekcija gospodarenja i prostorno-vremenskog razvoja regularne šume tijekom budućih četrnaest 10-godišnjih razdoblja (ophodnja 140 godina) pomoću računalnog programa SIMPLAG, te vrednovanje različitih pristupa gospodarenja na temelju usporedbi i odstupanja aktualnih od teoretskih kriterija gospodarenja.

Rezultati su pokazali utjecaj intenziteta obnove šume i načina određivanja sastojina za obnovu: (1) na razvoj prostorne i dobne strukture šume, 2) na kretanje i ukupne iznose etata te bruto i neto prihoda i na 3) drvene zalihe šume. Intenzivnom obnovom šume postigla bi se veća prosječna drvena zaliha šume, veći iznosi etata i prihodi, uz veliko odstupanje od teoretskih. Pristupom prioritetne obnove sastojina lošije strukture postigli bi se isto tako veći iznosi etata i prihoda uz manje odstupanje od teoretskih, što je u smislu potrajnosti gospodarenja prihvatljivije.

Buduće gospodarenje istraživanom šumom temeljeno na postupnoj obnovi šume tijekom duljeg razdoblja, prioritetnom obnovom novoizlučenih površina do 5 ha na dijelovima postojećih sastojina lošije strukture, može se preporučiti s obzirom da bi taj pristup dugoročno vodio oblikovanju odgovarajuće prostorne i dobne strukture šume uz najveće ekološke i ekonomske učinke.

KLJUČNE RIJEČI: hrast lužnjak, dobna struktura, struktura sastojine, renta, prioritet obnove, planiranje obnove sastojina

¹ Prof. dr. sc. Jura Čavlović, Dr. sc. Krunoslav Teslak, Karlo Beljan, mag. ing. silv. Zavod za izmjernu i uređivanje šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: kteslak@sumfak.hr

1. Uvod Introduction

Hrast lužnjak najvrijednija je, ali istodobno i sušenjem najugroženija listopadna vrsta drveća u Hrvatskoj (Tikvić i dr. 2009). Sušenje, izraženije u starijim sastojinama, uzrokuje narušavanje strukture sastojina koje se očituje kroz smanjenje obrasta (Čavlović i dr. 2009), a time i vrijednosti drvene zalihe sastojina. Smanjenje obrasta posljedično dovodi do opadanja prirasta u sastojini, promatrano u odnosu na potencijalne mogućnosti staništa koji se očituje kao izravan ekonomski gubitak. U sastojinama narušene strukture uslijed sušenja i propadanja stabala, značajno su otežani postupci obnove i poskupljenje njihove provedbe. Pri tomu, stupanj narušenosti strukture može se povezati s troškovima obnove (Željezić 2008). Obnova izrazito strukturno narušenih lužnjakovih sastojina često rezultira izmjenom glavne vrste drveća odnosno uređajnog razreda, što može biti opravdano u smislu obnove karakteristika šumskog tla pomoću pionirske vrste drveća (Matić i dr. 1996; Anić i dr. 2002).

Aktualna dobna struktura lužnjakovih šuma je nepravilna, s pretežitom zastupljenošću starih i starijih sastojina, što je osobito izraženo u gospodarskim jedinicama manjih površina. Osobito je to značajno u kontekstu činjenice da dobna struktura, odnosno njeno odstupanje od teoretske, ima odlučujući utjecaj na planiranje budućeg gospodarenja (Čavlović i dr. 1996; Čavlović i dr. 2012; Salo i Tahvonon 2002). U takvim okolnostima odnos dobi sastojina i propisane ophodnje ne treba biti isključivi kriterij za odabir sastojina za obnovu. Uz dob sastojine stupanj narušenosti strukture sastojina, kao i vrijednost drvene zalihe, postaju značajniji kriteriji pri planiranju etata glavnog prihoda (Čavlović i dr. 2011a).

Dugoročno gledano, polazeći od potencijalne rente kao ekonomskog kriterija, odnosno razlike u ostvarenoj renti kao posljedica odluke o provedbi trenutne obnove/sanacije, odnosno odgađanja obnove sastojine, mogu se objektivnije odrediti prioritete obnove potencijalno zrelih sastojina. Iako je potencijalni prihod (renta) ekonomski kriterij, posredno uključuje i objedinjava brojne druge kriterije kao što su narušenost strukture, vrijednost drvene zalihe, omjer vrsta drveća, narušenost stanišnih uvjeta (Čavlović i dr. 2011a). Pretpostavka je da se pristupom prioritetne obnove sastojina narušenije strukture, istovremeno djelomično sanira i sušenjem sastojina narušeno stanište, neovisno o dobi sastojina (Meštrović 1989; Matiće 2009; Čavlović i dr. 2011a). U takvim okolnostima kratkoročno gledano i na nižim razinama gospodarenja dolazi u pitanje održivost gospodarenja uslijed smanjene količine i vrijednosti glavnog prihoda i istovremeno očekivano većih troškova obnove sastojina.

Upravo s ciljem unaprjeđenja sveobuhvatnijeg planiranja gospodarenja šumama, razvoj i primjena simulacijskih mo-

dela usmjeren je na kreiranje integralnih računalnih aplikacija za gospodarenje ne samo šumskim, već i prirodnim resursima općenito (Mendoza i Martins 2006; Bončina i Čavlović 2009). Objedinjavanjem prostornog modeliranja utemeljenog na metodama daljinskih istraživanja, simulatora razvoja sastojina i dugoročnog planiranja istražuju se i razvijaju složeni, višenamjenski, sveobuhvatni sustavi potpore pri odlučivanju (*Decision Support Systems*) u gospodarenju prirodnim resursima (Lamas i dr. 2003). Sustavi potpore pri odlučivanju, osobitu važnu ulogu imaju pri predikciji i provjeri postavljenih scenarija gospodarenja u realnim sustavima, koji značajno odstupaju od modelnih tj. teoretskih (Öhman i Wikström 2008). U tome smislu razvijen je i računalni program SIMPLAG (Teslak i dr. 2012), kojim je moguće provesti projekciju prostorno-vremenskog razvoja strukture na razini pojedinih sastojina i razini stvarne šume hrasta lužnjaka, zasnovano na razvoju strukture sastojina (pojedinih dijelova heterogenih sastojina) te intenzitetu i prostorno vremenskoj dinamici obnove šume.

Polazeći od pretpostavke da je dugoročno i ekološki isplativije obnavljati sastojine narušenije strukture te od sveobuhvatnog kriterija razlike u renti, u radu je cilj (primjenom računalnog programa SIMPLAG) istražiti posljedice primjene dva suprotna pristupa rangiranja sastojina prema prioritetu za obnovu, te primjene različitih pristupa određivanja površinskog etata glavnog prihoda (intenziteta i dinamike obnove šume), na razvoj strukture sastojina, dobne i prostorne strukture šume, kao i na očekivano kretanje vrijednosti i strukture budućih prihoda, na primjeru stvarne šume (uređajnog razreda) hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Opeke. Na temelju dobivenih rezultata značajki budućeg razvoja šume, cilj je provesti analizu i vrednovati kratkoročne i dugoročne posljedice primjene različitih pristupa planiranja strukture i dinamike obnove sastojina u šumi hrasta lužnjaka relativno malene površine.

2. Predmet rada Object of research

Predmet istraživanja je šuma (uređajni razred) hrasta lužnjaka unutar gospodarske jedinice Opeke. Nastaje izdvajanjem 547 ha iz šireg kompleksa šume GJ Josip Kozarac 1963. godine, kada postaje sastavni dio NPŠO Lipovljani kojim upravlja i gospodari Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Prirodna obilježja područja rada detaljno su opisana i mogu se pronaći u već objavljenim radovima (Kovačević i dr. 1972; Seletković 1996).

Uređajni razred hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Opeke zauzima površinu od 429,4 ha ili 82,3 % obrasle površine. Stanište je vrlo produktivno (sve se sastojine nalaze unutar I. bonitetnog razreda), ali s obzirom na mikro-relejfnu značajku vrlo je dinamično po prostoru. Zastupljene su obje temeljne šumske zajednice hrasta lužnjaka (*Carpino*

Tablica 1. Usporedba aktualne i teoretske dobne strukture u istraživanoj šumi hrasta lužnjaka

Table 1. Comparison of actual and theoretical age-class structure of the researched pedunculate oak forest

		Dobni razredi – Age classes							Ukupno – Total	
		1–100	101–110	111–120	121–130	131–140	141–150	151–160		181–190
		godine – years								
Površina – Area (ha):	Aktualna – Actual		9,43	97,48	172,97	64,41	26,38	56,00	2,76	429,43
	Teoretska – Theoretical	306,74	30,67	30,67	30,67	30,67				429,43
Aktualna drvena zaliha – Actual standing volume (m ³):										
Hrast lužnjak – Pedunculate oak			4 687	26 405	59 063	21 579	8 582	23 578	871	144 765
Poljski jasen – Narrowleaved ash			47	8 558	15 518	6 781	2 364	3 432	32	36 732
Obični grab – Hornbeam			356	9 946	12 056	365	2 390	21	656	25 790
Ostala bjelog. – Oth. broadleaved			527	3 092	3 882	1 513	657	1 034	15	10 721
Ukupno – Total			5 617	48 001	90 519	30 238	13 994	28 065	1 574	218 007
Teoretska drvena zaliha – Theoretical standing volume (m ³):										
Hrast lužnjak – Pedunculate oak		86 592	15 306	15 766	16 104	16 349				150 117

betuli-Quercetum roboris/Anić 1959/Rauš 1969 i *Genisto elatae-Quercetum roboris* Ht. 1938), koje u ukupnoj površini sudjeluju jednoliko i čine dvije gotovo suvisle prostorne cjeline. Uređajni razred uključuje 26 sastojina prosječne površine 16,52 ha. Dob najmlađe sastojine iznosi 107 godina, a najstarije 185 godina (stanje 2006. godine). Prema navedenoj površini šume i ophodnji od 140 godina, teoretska površina sastojine je 3,07 ha, odnosno dobnog razreda širine 10 godina 30,7 ha. Postojeća raspodjela površine sastojina i drvene zalihe prema vrstama drveća i dobnim razredima, pokazuje izrazito odstupanje u odnosu na teoretsku (tablica 1).

3. Metoda rada

Method of work

Projekcija vremensko-prostornog razvoja istraživane regularne šume hrasta lužnjaka tijekom budućih 14 gospodarskih polurazdoblja (10-godišnjih razdoblja) za različite scenarije gospodarenja, provedena je primjenom računalnog programa SIMPLAG (Teslak i dr. 2012).

Prema prvom, manje intenzivnom scenariju (SC₁) pretpostavlja se intenzitet obnove šume od oko 30 ha (teoretska površina dobnog razreda širine 10 godina) tijekom svakog gospodarskog polurazdoblja. Najmanja pojedinačna površina pomladne površine (buduće sastojine) ograničena je na 2 ha, a najveća na 6 ha. Na početku pojedinog 10-godišnjeg razdoblja u izbor sastojina (dijelova sastojina) za obnovu uključene su sve sastojine starije od 100 godina. Međusobni prostorni razmak između novo obnovljenih sastojina određen je s najmanjom udaljenošću od 250 m.

Desetgodišnji intenzitet obnove šume od 50 ha (5/3 teoretske površine dobnog razreda širine 10 godina), pretpostav-

ljen je drugim intenzivnijim scenarijem gospodarenja (SC₂). Najmanja pojedinačna površina pomladne površine (buduće sastojine) ograničena je na 3 ha, a najveća na 13 ha. Pretpostavljeni površinski i prostorni kriteriji jednaki su kao i prema prvom scenariju.

Odabir sastojina prema prioritetu za obnovu temelji se na izračunu i rangiranju prema ekonomskoj odrednici razlike u potencijalnoj renti (*DEL_REN*), koja je posljedica odluke o trenutnoj provedbi obnove/sanacije, odnosno odgađanju obnove sastojine za dvadeset godina (Čavlović i dr. 2011b).

Kako je u ovom radu stavljen naglasak na istraživanje posljedica primjene različitih pristupa planiranja etata glavnog prihoda projekcijom razvoja šume (uređajnog razreda) hrasta lužnjaka u g.j. Opeke, rangiranje sastojine prema prioritetu za obnovom (iznos razlike u renti) provedeno je primjenom dva suprotna pristupa u okviru dva različita intenziteta obnove šume:

- a) NSR – rangiranje sastojina za obnovu narušene strukture, odnosno najmanjeg vrijednosnog prirasta, od najveće prema najmanjoj razlici u potencijalnoj renti;

NSR – stand regeneration ranking according to lowest potential rent difference (poor structure stand has highest regeneration priority)

- b) OSR – rangiranje sastojina za obnovu očuvane (najvrijednije) strukture, od najmanje prema najvećoj razlici u potencijalnoj renti (Teslak i dr. 2012).

OSR – stand regeneration ranking according to highest potential rent difference (well structure stand has highest regeneration priority)

Primjenom različitog intenziteta i prostorno-vremenske dinamike obnove šume, provedena je projekcija očekivanog razvoja aktualne šume: razvoj dobne strukture šume

(prosječna dob sastojine), razvoj prostorne strukture šume (prosječna površina sastojine), kretanje drvene zalihe, strukture očekivanih prihoda (glavni, međuprihod, ukupni), te vrijednosti bruto (glavni, međuprihod, ukupni) i neto očekivanih prihoda.

Na odnosu dobivenih elemenata razvoja aktualne šume prema teoretskim, zasnivaju se kriteriji vrednovanja scenarija i pristupa određivanja sastojina za obnovu. Pri tomu su elementi teoretske šume (površina sastojine, prosječna dob sastojine, površina dobnog razreda, drvena zaliha dobnog razreda, drvena zaliha šume, etat prethodnog i glavnog prihoda prema površini i volumenu) određeni na temelju odgovarajućih jednadžbi za definiranje modela normalno uređene regularne šume (Čavlović 2013).

Vrijednosti aktualnih i teoretskih bruto i neto prihoda određene su na temelju važećeg cjenika jediničnih vrijednosti posječenog drva te važećem troškovniku obnove i njege sastojina hrasta lužnjaka prema trgovačkom društvu Hrvatske šume d.o.o.

Vrednovanje scenarija i pristupa gospodarenja provedeno je na temelju ostvarenih ukupnih vrijednosti pojedinog kriterija na kraju projekcijskog razdoblja primjenom jednadžbe (1):

$$\sum X = \sum_{t=1}^{14} X_t \quad (1)$$

gdje je t – broj gospodarskih polurazdoblja (*number of 10-year management periods*), X – promatrani kriterij (*current management criteria*), npr. ostvareni etat glavnog prihoda u pojedinom gospodarskom polurazdoblju.

Odstupanje (osciliranje) pojedinog kriterija od utvrđenog teoretskog modela tijekom projekcijskog razdoblja istra-

ženo je pomoću indeksa prosječnog odstupanja od teoretskog modela na temelju jednadžbe (2):

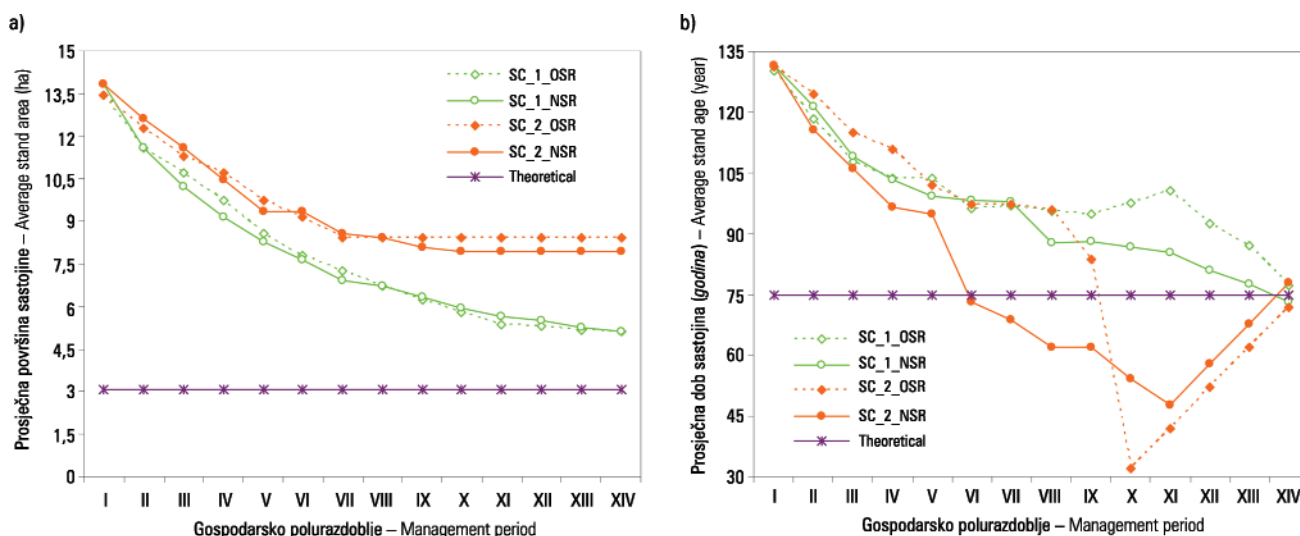
$$I_{ODS} = \frac{\sum_{t=1}^{14} |X_{SC_t} - X_{N_t}|}{\sum_{t=1}^{14} X_{N_t}} \quad (2)$$

gdje je I_{ODS} indeks prosječnog odstupanja između aktualnog i teoretskog kriterija (*actual vs. theoretical management criteria average deviation*), X_{SC} promatrani kriterij ostvaren primjenom pojedinog scenarija (*actual management criteria*) i X_N teoretska vrijednost promatranog kriterija (*theoretical management criteria*).

4. Rezultati Results

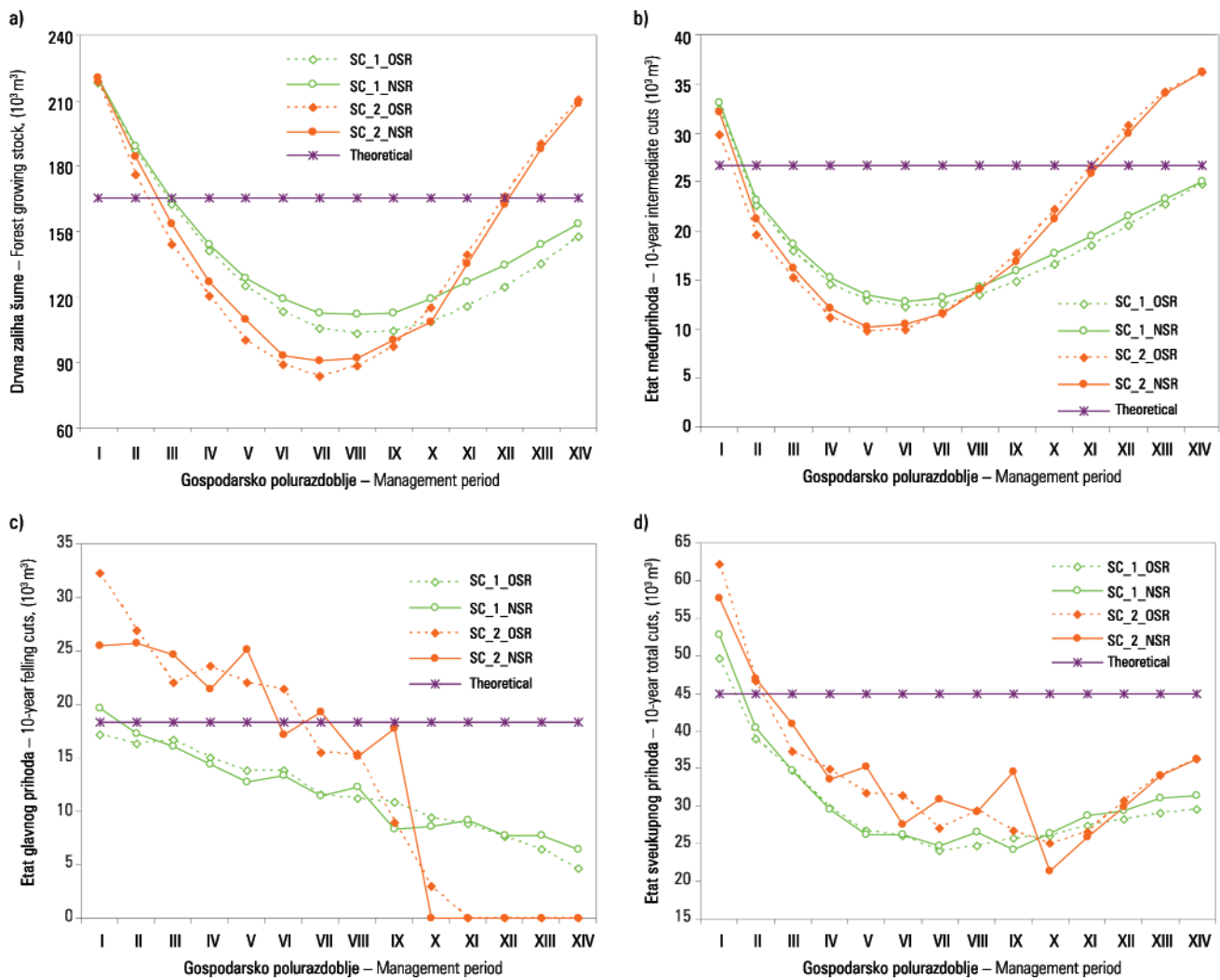
Iz činjenice relativno malene površine istraživane šume hrasta lužnjaka i postizanja teoretske površine sastojine od 3,07 ha proizlazi zahtjevan zadatak pred planiranje i gospodarenje u budućim razdobljima. Razvoj prostorne strukture šume izražen je posredno preko kretanja broja i prosječne površine sastojina. Prema prvom scenariju, uz manje intenzivnu obnovu, u prosjeku bi se obnavljao veći broj sastojina manje površine, u odnosu na drugi scenarij s intenzivnijom obnovom. To se vidi iz kretanja prosječne površine sastojine (slika 1a), gdje na kraju projekcijskog razdoblja prosječna površina sastojine iznosi oko 5, odnosno 8 ha. Pri tomu nije izražen utjecaj pristupa rangiranja sastojina za obnovu na kretanje prosječne površine sastojine.

Kretanje prosječne dobi sastojine kao posredni pokazatelj razvoja dobnog strukture šume očekivano je jače utjecano scenarijima različitog intenziteta obnove. Intenzivnijom ob-



Slika 1. Projekcija razvoja: a) prosječne površine sastojina, b) prosječne dobi sastojina prema pretpostavljenim pristupima i scenarijima gospodarenja.

Figure 1 Trends in: a) average stand area, b) average stand age, according to management scenarios



Slika 2. Projekcija kretanja: a) drvne zalihe šume; b) etata međuprihoda; c) etata glavnog prihoda i d) etata sveukupnog prihoda, prema postavljenim pristupima i scenarijima gospodarenja

Figure 2 Trends in: a) forest growing stock; b) 10-year intermediate cuts; c) 10-year felling cuts and d) 10-year total cuts, according to management scenarios

novom (SC_2) tijekom 80-godišnjeg razdoblja obnovi se gotovo cijela površina šume, pa je i prosječna dob sastojina na kraju VII. do IX. razdoblja, ovisno o pristupu, manja od teoretske, a posebno u odnosu na SC_1 prema kojemu se postupnom obnovom tijekom razdoblja ophodnje obnovi cijela površina šume i postigne teoretska dobna struktura (slika 1b). Pristup rangiranja sastojina za obnovu ima utjecaja na kretanje prosječne dobi sastojine, što je posljedica povezanosti dobi sastojina i narušenosti strukture. Tako pristup prioritnije obnove strukturno lošijih, starijih sastojina utječe na brže smanjenje prosječne dobi sastojine.

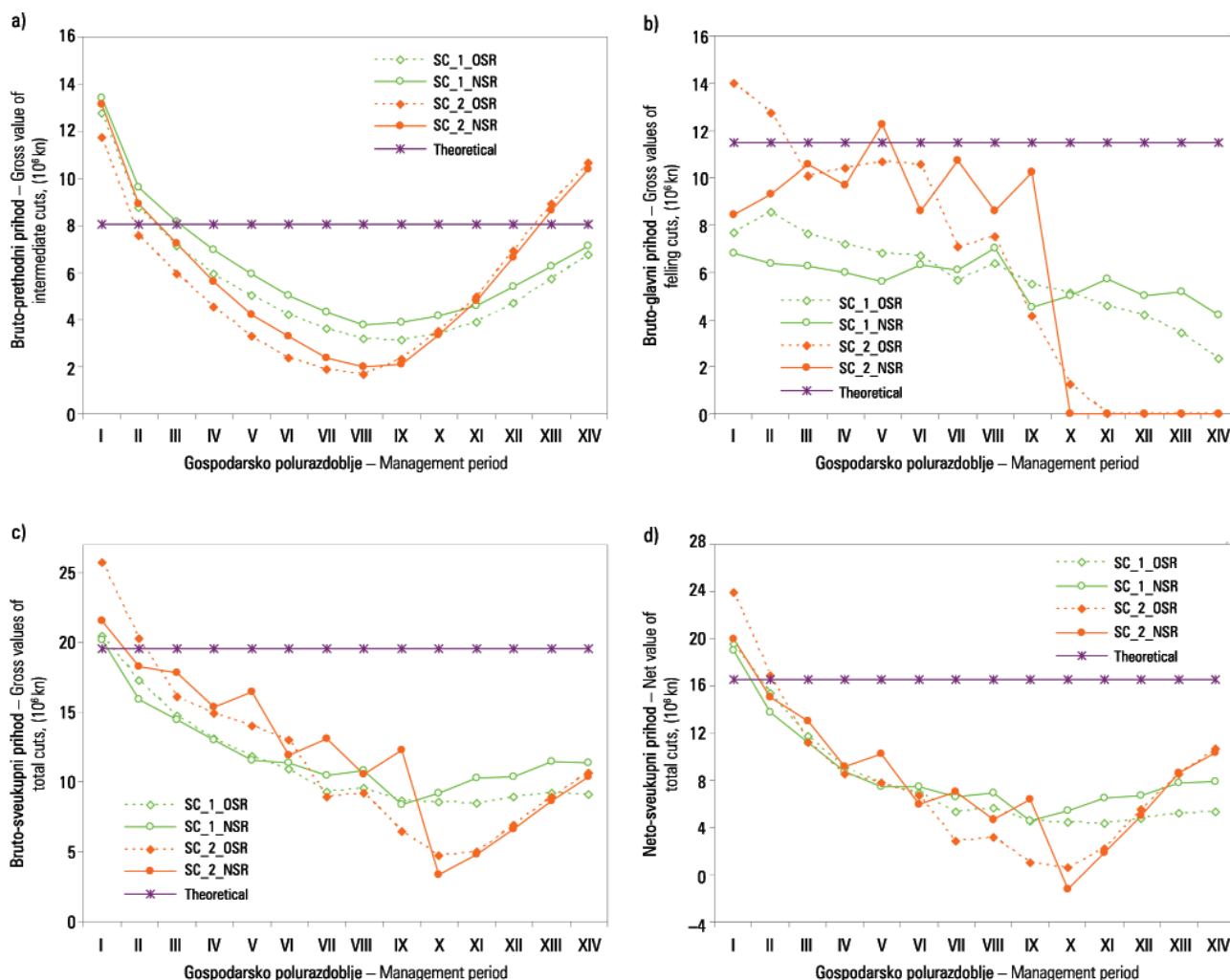
Utjecaj različitih intenziteta i prostorno-vremenske dinamike obnove šume na kretanje drvne zalihe šume i sječivih prihoda, kao posljedica pretpostavljenog gospodarenja, razvoja šume i strukture svake pojedine sastojine, vidljiv je iz slike 2.

Smanjenje nagomilane drvne zalihe tijekom prve polovice projekcijskog razdoblja značajno ispod teoretske razine kao posljedica obnove zrelih sastojina, te njeno povećanje tije-

kom druge polovice projekcijskog razdoblja kao posljedica razvoja obnovljenih sastojina i akumuliranja volumnog prirasta, općenito je karakteristično za sve pristupe gospodarenja (slika 2a). Pri tomu je uz intenzivniju obnovu (SC_2) smanjenje i povećanje drvne zalihe očekivano brže u odnosu na prvi scenarij. Kretanje drvne zalihe utjecano je i načinom rangiranja sastojina za obnovu, pa tako pristup prioritnije obnove sastojina očuvane strukture intenzivnije utječe na kretanje drvne zalihe.

Trendovi kretanje etata međuprihoda gotovo su u potpunosti jednaki kretanju drvne zalihe šume (slika 2b). To je objašnjivo s obzirom na činjenicu da je etat međuprihoda preko prosječnog 10-godišnjeg intenziteta prorjedne sječe neposredno povezan s drvnom zalihom sastojina u kojima se provodi njega prorjedom i koja je od ukupne drvne zalihe manja samo za iznos etata glavnog prihoda.

Povezano s intenzitetom i dinamikom obnove te strukturom sastojina koje se obnavljaju, odvija se projekcija etata glavnog prihoda (slika 2c). Intenzivnijom obnovom sasto-



Slika 3. Kretanje: a) bruto vrijednosti prethodnog prihoda; b) bruto vrijednosti glavnog prihoda; c) bruto vrijednosti sveukupnog prihoda i d) neto vrijednosti sveukupnog prihoda, prema postavljenim pristupima i scenarijima gospodarenja

Figure 3 Trends in: a) gross value of intermediate cuts; b) gross values of felling cuts; c) gross values of total cuts and d) net value of total cuts

jina (SC₂) tijekom prvih 50 godina etat glavnog prihoda bio bi veći od teoretskog, iako je struktura sastojina koje se obnavljaju prosječno lošija od teoretske, te se nakon obnove šume (IX. razdoblje) očekuje njegov izostanak. U odnosu na intenzivnu obnovu, kretanje etata glavnog prihoda uz gospodarenje koje se zasniva na teoretskom intenzitetu obnove (SC₁) je drukčije. Na početku razdoblja podudara se sa teoretskim etatom, te se jednoliko smanjuje prema kraju projekcijskog razdoblja kao posljedica postupne obnove i odgađanja obnove starih sastojina, kojima struktura postaje sve lošija uslijed očekivanih slučajnih prihoda (etat međuprihoda).

Naizmjenično mijenjanje odnosa (križanje krivulja) etata glavnog prihoda s obzirom na različite pristupe rangiranja sastojina za obnovu, više je posljedica u razlici površine sastojina koje se obnavljaju, a manje u razlici volumena sastojina loše, odnosno očuvane strukture koje se obnavljaju. Površina sastojina za obnovu za pojedino razdoblje ne podudara se u potpunosti sa površinskim etatom od 30, odnosno 50 ha, s obzirom da zbroj površina izlučenih sastojina i odabra-

nih za obnovu može biti nešto manji ili veći od 10-godišnjeg površinskog etata obnove od 30, odnosno 50 ha.

Trendovi kretanja vrijednosti prihoda općenito su slični trendovima kretanja sječivog prihoda prema volumenu, međutim određena odstupanja u dinamici i odnosima su posljedica različite strukture i vrijednosti pojedinog prihoda (slika 3). Tako podjednak prihod u m³ može se zbog razlike u kvaliteti značajno razlikovati u vrijednosti (npr. etati glavnog prihoda prema SC₁ u III. razdoblju za oba pristupa rangiranja sastojina za obnovu su podjednaki (slika 2c), dok je vrijednost etata uz pretpostavku obnove sastojina očuvane strukture bila za 1,6 mil. kuna veća (slika 3b)).

Uz pretpostavku jednakog etata obnove prema površini i volumenu, logično se može očekivati veća vrijednost etata glavnog prihoda kada se kao prioritarnije za obnovu odabiru sastojine očuvane strukture (slika 3b). Pristup rangiranja sastojina za obnovu posredno ima utjecaja i na kretanje vrijednosti etata međuprihoda, s obzirom da se struktura i vrijednost etata međuprihoda tijekom obnove zrelih sa-

Tablica 2. Odnos potencijalnih aktualnih i teoretskih etata i prihoda prema scenarijima i pristupima gospodarenja tijekom projekcijskog razdoblja. EM – etat međuprihoda, EG – etat glavnog prihoda, BUKP – bruto vrijednost ukupnog etata, ostale oznake kao u poglavlju 3 (5. pasus).

Table 2. Relation of potential actual and theoretical fellings and yield according to management scenarios and approach over the projection period. EM – intermediate fellings, EG – regeneration fellings, BUKP – gross value of total fellings, other abbreviations as in chp. 3 (ph. 5).

Scenarij i pristup gospodarenja – Scenario and management appr.		SC_1						SC_2						Teoretski – Theoretical
		OSR	NSR	OSR	NSR	OSR	NSR	OSR	NSR	OSR	NSR	OSR	NSR	
Potencijalni prihod – Potential yield		EM		EG		BUKP		EM		EG		BUKP		
udio etata i prihoda prema ukupnom teoretskom – rate of prescribed cuts and bruto yield acc. to theoretic	Razdoblje – Period	%												
	I	8,7	8,9	6,7	7,6	7,5	7,4	8,0	8,6	12,5	9,9	9,4	7,9	7,14
	II	6,1	6,2	6,3	6,7	6,3	5,8	5,3	5,7	10,5	10,0	7,4	6,7	7,14
	III	4,8	5,0	6,5	6,2	5,4	5,3	4,1	4,4	8,6	9,6	5,9	6,5	7,14
	IV	3,9	4,1	5,8	5,6	4,8	4,7	3,0	3,2	9,2	8,3	5,5	5,6	7,14
	V	3,5	3,6	5,4	5,0	4,3	4,2	2,6	2,7	8,6	9,7	5,1	6,0	7,14
	VI	3,3	3,4	5,4	5,2	4,0	4,2	2,7	2,8	8,3	6,7	4,7	4,4	7,14
	VII	3,4	3,6	4,5	4,4	3,4	3,8	3,1	3,1	6,0	7,5	3,3	4,8	7,14
	VIII	3,6	3,8	4,4	4,8	3,5	3,9	3,8	3,8	6,0	5,9	3,3	3,9	7,14
	IX	4,0	4,3	4,2	3,3	3,2	3,1	4,7	4,5	3,5	6,9	2,4	4,5	7,14
	X	4,5	4,7	3,7	3,3	3,1	3,3	5,9	5,7	1,1	0,0	1,7	1,2	7,14
	XI	5,0	5,2	3,4	3,6	3,1	3,8	7,1	6,9	0,0	0,0	1,8	1,8	7,14
	XII	5,5	5,8	2,9	3,0	3,3	3,8	8,2	8,0	0,0	0,0	2,5	2,4	7,14
	XIII	6,1	6,2	2,5	3,0	3,3	4,2	9,2	9,1	0,0	0,0	3,3	3,2	7,14
XIV	6,7	6,7	1,8	2,5	3,3	4,1	9,7	9,7	0,0	0,0	3,9	3,8	7,14	
Σ		68,9	71,5	63,4	64,2	58,5	61,7	77,4	78,3	74,3	74,5	60,2	62,6	100,0

Tablica 3. Vrednovanje pristupa gospodarenja usporedbom ukupno ostvarenih iznosa tijekom projekcijskog razdoblja, međusobne razlike (Δ) i prosječnog indeksa odstupanja (I_{ods}) za odgovarajuće pokazatelje gospodarenja. DZ_s – drvna zaliha šume (prosječna vrijednost), EUK – ukupni etat, BEMP – bruto vrijednost etata međuprihoda, BEGP – bruto vrijednost etata glavnog prihoda, NUKP – neto vrijednost ukupnog etata, ostale oznake kao u jednadžbi 2 i tablici 2.

Table 3. Management approach valuation by comparison of total achieved amounts over the projection period, achieved differences and average deviation indices over projection period for the appropriate management criteria. DZ_s – growing forest stock (average amount), EUK – total fellings, BEMP – gross value of intermediate fellings, BEGP – gross value of regeneration fellings, NUKP – net value of total fellings, other abbreviations as in formula 2 and Table 2.

Pokazatelj gospodarenja – Management criteria		Scenarij i pristup gospodarenja – Scenario and management approach									
		SC_1					SC_2				
		OSR	NSR	Δ	I_{ods}		OSR	NSR	Δ	I_{ods}	
			OSR	NSR	OSR	NSR		OSR	NSR		
EM	10 ³ m ³	256,81	266,66	9,85	0,34	0,32	288,70	291,97	3,27	0,36	0,35
EG		163,20	165,26	2,06	0,37	0,37	191,16	191,75	0,59	0,55	0,50
DZ_s		1892,60	1983,59	90,99	0,25	0,21	1940,01	1974,17	34,16	0,28	0,27
EUK		420,01	431,92	11,92	0,35	0,34	479,86	483,72	3,86	0,30	0,28
BEMP	10 ⁶ kn	78,26	88,67	10,41	0,40	0,34	76,26	82,75	6,49	0,45	0,42
BEGP		81,72	80,01	-1,71	0,49	0,50	88,40	88,34	-0,06	0,50	0,46
BUKP		159,98	168,68	8,70	0,42	0,39	164,67	171,09	6,42	0,45	0,39
NUKP		110,17	119,94	9,77	0,57	0,52	109,64	116,11	6,47	0,61	0,57

stojina (cijele šume) zasniva na strukturi i vrijednosti pretpostavljenih slučajnih prihoda sastojina u kojima se odgađa obnova (slika 3a).

Značajke različitih pristupa gospodarenja tijekom projekcijskog razdoblja mogu se odrediti iz relativnih odnosa potencijalnih aktualnih sječivih prihoda (međuprihodi i

glavni prihod) i bruto vrijednosti ukupnih prihoda unutar pojedinih razdoblja prema teoretskim vrijednostima (tablica 2). Brojčani podaci prikazani u tablici 2, na odgovarajući način su u podudarnosti sa slikama 2 i 3.

Rezultati kretanja drvne zalihe šume, odnosa i odstupanja ukupno ostvarenih sječivih prihoda obnove i njege šume i

njihovih bruto i neto vrijednosti na kraju projekcijskog razdoblja prema teoretskim (tablica 3), predstavljaju polazište za analizu i vrednovanje različitih pristupa gospodarenja u dugoročnom smislu (načelo potrajnosti gospodarenja).

Prema tablici 3, pristup intenzivnije obnove šume (SC_2) rezultirao bi većom prosječnom drvnom zalihom šume, većim sječivim etatima (obnova šume) i u konačnici nešto većim bruto i neto prihodima u odnosu na manje intenzivnu obnovu temeljenu na teoretskom površinskom etatu glavnog prihoda (SC_1), ali s izraženijim odstupanjem od teoretskih modela. Unutar oba scenarija gospodarenja, pristup prioritetnije obnove sastojina narušene strukture rezultirao bi većim iznosima odnosnih kriterija gospodarenja i manjim prosječnim odstupanjima od teoretskih modela.

5. Rasprava Discussion

Istraživana šuma hrasta lužnjaka relativno male površine od samo 430 ha i nepovoljne dobne (sve sastojine starije od 107 godina) i prostorne (samo 26 sastojina prosječne površine od 16,5 ha) strukture šume, pogodan je objekt za istraživanje razvoja prostorne i dobne strukture šume primjenom različitih pristupa gospodarenja. S druge strane, postupna uspostava optimalne prostorne i dobne strukture šume i održivost gospodarenja, u stvarnosti predstavlja posebno zahtjevan zadatak za planiranje i provedbu postupaka gospodarenja u budućnosti (Čavlović i dr. 2006).

Uspostava odgovarajućeg niza jednodobnih sastojina optimalne unutarnje strukture i homogenosti te međusobne prostorne raspoređenosti kao glavni cilj gospodarenja, te postojeća prostorna i dobna struktura sastojina istraživane šume, polazišta su projekcije razvoja i gospodarenja šumom. Jedino je postupkom odgovarajućeg određivanja sastojina (i izlučivanja dijelova postojećih sastojina) za obnovu, uspješne provedbe obnove i usmjeravanja razvoja strukture budućih sastojina, moguće oblikovanje finije prostorne strukture i optimalne dobne strukture šume. Prostorna raspodjela (izlučivanje sastojina) i vrijeme (prioritet obnove) odgovarajuće površine za obnovu (periodički površinski etat obnove), treba biti povezano s prostornom raspodjelom elemenata strukture sastojina (heterogenost), odstupanjem elemenata strukture od teoretskih, stanišnim obilježjima i vrijednosnim prirastom, koji su sadržani u sveobuhvatnoj varijabli razlike potencijalne rente (Čavlović i dr. 2011a) i mogućnosti projekcije prostorno-vremenskog razvoja šume pomoću računalnog programa SIMPLAG (Teslak i dr. 2012).

U okviru manje intenzivnog scenarija obnove šume zahtjev za najmanjom, odnosno najvećom površinom sastojine za obnovu od 2, odnosno 6 ha, vodio bi izlučivanju homogenijih sastojina za obnovu u strukturnom i kvalitativnom

smislu, ali i oblikovanju finije prostorne strukture šume u pogledu većeg broja, površinom manjih i homogenijih sastojina optimalnije prostorne raspodjele. Dobivena prosječna površina sastojine od 5 ha nalazi se između kriterija najmanje i najveće površine izlučivanja, relativno je blizu teoretske površine i više je u skladu s ekološkim zahtjevima prirodi bliskog gospodarenja (Larsen 2012) i pomlađivanju na malim površinama na kojima je utvrđeno uspješno pomlađivanje hrasta lužnjaka (Ostrogović i dr. 2010). Nasuprot tomu, intenzivnija obnova šume (SC_2) vodila bi manje prikladnoj prostornoj strukturi istraživane šume.

Početna prosječna dob sastojina od preko 130 godina te njeno smanjivanje s obzirom na pretpostavljene pristupe gospodarenja (slika 1b), ukazuje na intenzitet i dinamiku obnove sastojina te očekivani razvoj dobne strukture šume. Pristup intenzivne i prioritetne obnove strukturno narušenijih starijih sastojina vodio bi brzom opadanju prosječne dobi i postizanju teoretske dobi te potom najmanje dobi od oko 50 godina, nakon čega se prosječna dob povećava i premašuje teoretsku. Teoretski bi uz stalnu primjenu ovakvog intenziteta obnove (50 ha tijekom 10-godišnjeg razdoblja) prosječna dob sastojina oscilirala oko teoretske u dugim vremenskim ciklusima i nikada se ne bi ustalila u teoretskoj dobi, što znači da se ne bi uspostavila jednakost površina dobnih razreda. Nasuprot tomu, intenzitet obnove šume zasnovan na teoretskom površinskom etatu glavnog prihoda (SC_1) vodio bi postupnom opadanju prosječne dobi sastojina tijekom razdoblja koje odgovara duljini ophodnje, nakon što bi dostigla i ustalila se u teoretskoj dobi sastojine uz uspostavu i održavanje jednakosti površina dobnih razreda.

Prema tomu je za šume dobne strukture kao što je istraživana šuma hrasta lužnjaka sastavljena samo od zrelih i dozrijevajućih sastojina (tablica 1), posebno zahtjevno i ključno pitanje budućeg planiranja i gospodarenja u dugoročnom smislu i odnosi se na određivanje dužine razdoblja obnove šume. Kratko razdoblje obnove vodilo bi intenzivnoj obnovi, koncentraciji glavnih prihoda, ali i šumskouzgojnih radova vezanih uz obnovu sastojina i njegu prvih razvojnih stadija sastojina, te daljnjem održavanju neuravnotežene dobne strukture šume. S druge strane, dugo razdoblje obnove šume, do duljine ophodnje, uz postupnu obnovu i uspostavu uravnotežene dobne strukture šume, povlači sa sobom pitanje dugotrajnog odgađanja obnove i "konzervacije" posebice u slučajevima sastojina koje bi na red za obnovu došle tek na kraju projekcijskog razdoblja. To bi na primjer za neke sastojine u istraživanoj šumi značilo održavanje do sječive dobi od preko 260 godina.

Određeni kompromis između dva suprotna pristupa u pogledu intenziteta obnove šume ogleda se u odredbi Pravilnika o uređivanju šuma iz 2006. godine (POUŠ 2006), prema kojoj najveći 10-godišnji površinski etat glavnog pri-

hoda može iznositi 60 % normalne površine dobnog razreda. Na taj način je razdoblje obnove šume ograničeno na najmanje 85 % u odnosu na ophodnju kojim se može uspostaviti približna uravnoteženost dobnih razreda (Čavlović i dr. 2009).

Zbog nedostatka starih sastojina hrasta lužnjaka dobi od preko 200 i više godina koje su se razvijale u različitim stanišnim i gospodarskim uvjetima, teško je predvidjeti moguću "razvoj" zrelih 130-godišnjih sastojina u kojima se obnova odgađa za još toliko godina. Rijetki primjeri takvih sastojina ili ostataka sastojina velike konzervacijske i ekološke vrijednosti i istraživanja njihove strukture i proteklog razvoja (Rozas 2004), mogu biti od velike važnosti za pretpostavke budućeg razvoja i gospodarenja zrelih sastojina hrasta lužnjaka. Gustoća takvih sastojina od 35 do 50 stabala hrasta lužnjaka po ha dobi od 250–350 godina, ukazuje na mogućnost podržavanja zrelih sastojina hrasta lužnjaka do tako velikih dobi.

Stara sastojina hrasta lužnjaka s grabom dobi od 190 godina sa 40 stabala hrasta po ha koja se nalazi i u istraživanoj šumi (odsjek 158b), može poslužiti kao primjer dugotrajnog podržavanja (odgađanja obnove) sastojine uz očuvanje obilježja šumskog staništa (podstojni grab) unutar šumskog tipa na gredi. S druge strane, na vlažnom stanišnom tipu razvoj podstojne etaže i podrasta (prateće vrste drveća: jasen, joha, brijest, klen) usporedno s postupnom redukcijom broja stabala hrasta lužnjaka, može predstavljati drugi tip "konzervacije" šumskog staništa i sastojine do trenutka njene obnove. Značajnije opadanje prirasta i pojava rupa i šupljina u deblima javlja se na hrastovim stablima tek nakon 200-te godine života (Ranius i dr. 2009), kada u takvim sastojinama uz smanjenu gospodarsku ulogu može doći do izražaja ekološka i habitatna uloga šume kao pogodno stanište za brojne životinjske vrste kao što su beskralješnjaci, ptice i sisavci (Horváth i dr. 2012).

Povezano s prethodno navedenim, uz pretpostavljenu i potvrđenu dugoročnu isplativost prioritetne obnove sastojina lošijeg obrasta, odgađanje obnove sastojina očuvanje strukture išlo bi u prilog i uspješnijem podržavanju pojedinih lužnjakovih sastojina do dobi od 250 i više godina. Obnova i sanacija sastojina u kojima je obrast glavne vrste drveća manji od 0,4 propisana je i odredbom Pravilnika o uređivanju šuma (POUŠ 2006). U tome smislu je i ključni cilj ovoga rada bio usporediti i vrednovati dva suprotna pristupa određivanja sastojina za obnovu.

Iako unutar sastojina istraživane šume postoji mala heterogenost u pogledu prostorne raspodjele elemenata strukture, dobiveni rezultati (tablica 3) pokazali su da bi u dugoročnom smislu bio prihvatljiviji i isplativiji onaj pristup kojim se planira obnova šume na način da veći prioritet imaju one sastojine ili dijelovi postojećih sastojina u kojima je lošija struktura. Na to ukazuju dobivene razlike ukupnog očeki-

vanog sječivog etata proreda i obnove sastojine te bruto i neto vrijednosti sječivih prihoda u korist navedenog pristupa, neovisno o intenzitetu obnove šume (mali izuzetak je bruto vrijednost glavnih prihoda pri intenzivnoj obnovi šume). S gledišta održivosti šume i načela potrajnosti gospodarenja, veća prosječna drvena zaliha šume i manje odstupanje očekivanih sječivih prihoda u odnosu na teoretske, spomenuti pristup čini isto tako prihvatljivijim od pristupa prioritetnije obnove sastojina očuvanje strukture.

Dva pristupa planiranja sastojina za obnovu imaju utjecaj na kretanje količine, kvalitete (vrijednosti) i odnosa između prorednih i zrelih sječa. Prioritetnija obnova kvalitetnijih sastojina, posebno u prvim razdobljima, rezultirala bi većim, kvalitetnijim i vrijednijim glavnim prihodom, te manjim, manje kvalitetnim i vrijednim međuprihodom u odnosu na suprotni pristup (slike 2bc, 3 ab). To je povezano s činjenicom da se unutar pojedinog gospodarskog razdoblja u sastojinama koje nisu predviđene za obnovu, očekivani slučajni prihod uslijed neminovne postupne redukcije stabala hrasta (godišnja stopa mortaliteta) uvrštava u etat međuprihoda. Taj dio slučajnog prihoda značajno je veći i kvalitetniji u slučajevima kada se obnova odgađa u sastojinama očuvane strukture. Prema istraživanjima stope mortaliteta u Austriji (Monserud i Sterba 1999), intenzitet odumiranja stabala hrasta opada s povećanjem promjera stabala, i za stabla hrasta promjera većeg od 50 cm iznosi 0,3 % godišnje. Na sličnom intenzitetu zasniva se predviđanje slučajnog prihoda u istraživanim sastojinama.

Iako nisu pronađena relevantna istraživanja koja dovode u vezu strukturnu kvalitetu sastojina hrasta lužnjaka koje se obnavljaju s uspjehom i troškovima njihove obnove, osim sporadičnih istraživanja (Željezić 2008), može se pretpostaviti da se mogu očekivati veći troškovi obnove sastojina lošije strukture. Stoga u ovom radu prilikom određivanja neto prihoda to nije moglo biti uzeto u obzir. To može značiti da je neto prihod potcijenjen u prvim razdobljima u okviru pristupa prioritetne obnove sastojina slabog obrasta, kao i u zadnjim razdobljima u okviru pristupa prioritetne obnove kvalitetnijih sastojina.

Uz ekonomski i dugoročno prihvatljiviji pristup prioritetne obnove strukturno narušenijih dijelova sastojine/šume, nije dvojbena ni ekološka prihvatljivost takovog pristupa. To je potvrđeno brojnim do sada provedenim istraživanjima praćenja sukcesije vegetacije u slučajevima narušenih šumskih ekosustava i stanišnih uvjeta, radi rješavanja nastalih problema i što skorije zaštite i očuvanja karakteristika šumskog tla kao ključnog čimbenika u postupcima obnove sastojina hrasta lužnjaka (Vukelić i Rauš 1993; Matić i Skenderović 1993; Matić i dr. 1996; Anić i dr. 2002; Matić 2009). Pritom, kao uvjet dugoročne isplativosti ovog pristupa je u pretpostavci uspješne obnove sastojina, gdje treba staviti naglasak na pojedinačni pristup ovisno o stanju sastojine, a uzgojni

radovi njege i obnove mogu se provoditi istovremeno čak u istom odsjeku (Matić i dr. 1996). Uz tako izvanredne i ne-ubičajene zahvate kao posljedice narušenih stanišnih i strukturnih uvjeta u sastojinama, obnova bi trebala rezultirati podizanjem prilagodljivijih, mladih sastojina hrasta lužnjaka (Matić i dr. 2009).

6. Zaključci Conclusion

Na temelju dobivenih rezultata simulacijskog istraživanja, za istraživanu šumu hrasta lužnjaka, dugoročno i cjelovito gledano, za buduća gospodarska razdoblja može se preporučiti gospodarenje zasnovano na što je moguće dužem (do duljine ophodnje) razdoblju postupne obnove šume i prioritetnoj obnovi novoizlučenih sastojina površine do 5 ha unutar dijelova postojećih sastojina lošije strukture, uz njihovu jednoliku prostornu raspodjelu. To bi vodilo uspostavi odgovarajuće prostorne i dobne strukture šume uz najveće ekološke i ekonomske učinke.

Intenzivna obnova šume uključivanjem najkvalitetnijih sastojina u površinski etat glavnog prihoda tijekom prvih razdoblja, kratkoročno bi u ekonomskom pogledu bila isplativija. Međutim, s druge strane to bi vodilo daljnjem pogoršavanju kvalitete strukturno lošijih sastojina ili pojedinih dijelova sastojina, narušavanja stanišnih uvjeta i nagomilavanja problema (otežana prirodna ili potpomognuta obnova, gubitak lužnjakovih sastojina) koji su povezani s odgađanjem zamjene (obnove) nestabilnih sastojina loše strukture prilagodljivijim i stabilnijim mladim sastojinama. Isto tako, ne bi se mogla očekivati uspostava uravnotežene dobne strukture.

Provedba dugoročnih projekcija alternativnih pristupa budućeg gospodarenja može se zasnivati na računalnim programima za simuliranje prostorno-vremenskog razvoja šume hrasta lužnjaka, kao što je SIMPLAG. Iako su dugoročne projekcije teško predvidive i nezahvalne, analiza, vrednovanje i određivanje mogućih posljedica različitih alternativnih pristupa gospodarenja osigurava dodatne izvedene informacije, koje mogu biti dobra podrška pri donošenju konačnih odluka u planiranju gospodarenja šumama.

U kratkoročnom pogledu održivost gospodarenja istraživanom šumom može biti upitna u slučaju pristupa prioritetne obnove sastojina najlošije kvalitete, zbog očekivano manjih prihoda, kao i povećanih troškova otežane obnove takvih sastojina. Pronalaženje odgovarajućeg odnosa između očekivanih mogućih gubitaka uslijed žurne sanacije i obnove sastojina loše kvalitete i povećanih prihoda uslijed obnove i njege dijela kvalitetnijih sastojina, može voditi osiguranju održivosti gospodarenja, koja ako se ne može postići unutar gospodarske jedinice treba biti proširena na šire područje.

7. Zahvala Acknowledgement

Zahvaljujemo poduzeću "Hrvatske šume" d.o.o. koje je omogućilo terenski dio ovoga istraživanja, ali i ustupilo dio podataka. Posebno zahvaljujemo djelatnicima Uprava šuma podružnica Zagreb, Sisak i Nova Gradiška.

8. Literatura References

- Anić, I., M. Oršanić, M. Detelić, 2002: Revitalizacija degradirana ekosustava nakon sušenja hrasta lužnjaka – primjer šume Kalje. Šum. list, 94 (11–12): 575–587.
- Bončina, A., J. Čavlović, 2009: Perspectives of Forest Management Planning: Slovenian and Croatian Experience. Croatian Journal of Forest Engineering, 30 (1): 77–87.
- Čavlović, J., 2013: Osnove uređivanja šuma. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 322 s.
- Čavlović, J., M. Božić, K. Teslak, 2006: Mogućnost uspostave potrajnog gospodarenja šumama hrasta lužnjaka u budućem gospodarskim razdobljima. Glasnik za šumske pokuse, posebno izdanje 5, pp. 419–431.
- Čavlović, J., M. Božić, K. Teslak, 2009: Ophodnja i obrast pri planiranju gospodarenja šumama hrasta lužnjaka u uvjetima narušene strukture sastojina. Zbornik radova sa znanstvenog skupa: Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 23–37.
- Čavlović, J., K. Teslak, A. Jazbec, M. Vedriš, 2011a: Utjecaj sastojinskih, stanišnih i strukturnih obilježja na planiranje obnove sastojina u šumama hrasta lužnjaka. Croatian Journal of Forest Engineering, 32 (1): 271–286.
- Čavlović, J., K. Teslak, A. Seletković, 2011b: Primjena i usporedba pristupa planiranja obnove sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) na primjeru gospodarske jedinice "Josip Kozarac", Šumarski list 135 (9–10): 423–435.
- Čavlović, J., O. Antoni, M. Božić, K. Teslak, 2012: Long-term and country scale projection of even-aged forest management: a case study for *Fagus sylvatica* in Croatia. Scandinavian Journal of Forest Research, 27 (1): 36–45
- Horváth, G.F., D. Schäffer, A. Pogány, D. Tóth, 2012: Spatial distribution of small mammal populations in Drava floodplain forest. Šumarski list, 136 (3–4): 141–151.
- Kovačević, P., M. Kalinić, V. Pavlič, M. Bogunović, 1972: Tla gornjeg dijela bazena rijeke Save. Znanstveni projekt. Institut za znanost o tlu, p. 331, Zagreb.
- Larsen, J. B., 2012: Close-to-Nature Forest Management: The Danish Approach to Sustainable Forestry, Sustainable Forest Management – Current Research, Dr. Julio J. Diez (Ed.).
- Lamas, T., L.O. Ericson 2003: Analysis and planning systems for multi-resource, sustainable forestry – The Heureka research programme at SLU. Canadian Journal of Forest Research, 33: 500–508.
- Matić, S., J. Skenderović, 1993: Studija biološkog i gospodarskog rješenja šume Turopoljski lug. Glas. šum. pokuse, 29: 295–334.

- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 1996: Istraživanje obnove i njege šuma na području Pokupskog bazena. Radovi, 31 (1/2): 111–124.
- Matić, S., 2009: Gospodarenje šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u promijenjenim stanišnim i strukturnim uvjetima. Zbornik radova sa znanstvenog skupa Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, pp. 1–22, Zagreb.
- Mendoza, G.A., H. Martins, 2006: Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. Forest Ecology and Management, 230, (1–3): 1–22.
- Meštrović, Š., 1989: Uređivanje šuma hrasta lužnjaka zahvaćenim sušenjem. Glas. šum. pokuse, 25: 101–110.
- Monserud, R.A., H. Sterba, 1999: Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. Forest Ecology Management 113, 109–123.
- Ostrogović, M.Z., K. Sever, I. Anić, 2010: Utjecaj svjetla na prirodno pomlađivanje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u park-šumi Maksimir u Zagrebu. Šumarski list, 134 (3–4): 115–123.
- Öhman, K., P. Wikström, 2008: Incorporating aspects of habitat fragmentation into long-term forest planning using mixed integer programming. Forest Ecology and Management, 255 (3–4): 440–446.
- POUŠ, 2006: Pravilnik o uređivanju šuma. Narodne novine Republike Hrvatske, Zagreb, 2006, br. 111/06.
- PG Opeke, 2006: Program gospodarenja šumama s posebnom namjenom nastavno pokusnog šumskog objekta – Lipovljani, gospodarska jedinica "Opeke" (2006 – 2015). Šumarski Fakultet Zagreb, Zagreb, 200 str.
- Ranius, T., M. Niklasson, N. Berg, 2009: Development of tree hollows in pedunculate oak (*Quercus robur*) Forest Ecology and Management, 257: 303–310.
- Rozas, V., 2004: A dendroecological reconstruction of age structure and past management in an old-growth pollarded parkland in northern Spain. Forest Ecology and Management, 195: 205–219.
- Salo, S., O. Tahvonen, 2002: On the optimality of a normal forest with multiple land classes. Forest Science, 48 (3): 530–542.
- Seletković, Z., 1996: Klima lužnjakovih šuma. Hrast lužnjak u Hrvatskoj. (U: D. Klepac), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti Zagreb, Centar za znanstveni rad Vinkovci, pp. 56–71.
- Teslak, K., J. Čavlović, M. Božić, 2012: SIMPLAG, računalni program za projekciju razvoja regularne šume: konstrukcija, struktura i primjena, Šumarski list, 136 (7–8): 331–342.
- Tikvić, I., Ž. Zečić, D. Ugarković, D. Posarić, 2009: Oštećenost stabala i kakvoća drvnih sortimenata hrasta lužnjaka na spačvanskom području, Šumarski list, 135 (5–6): 237–248.
- Vukelić, J., Đ. Rauš, 1993: Fitocenološki aspekt sušenja šuma u Turopoljskom lugu. Glas. šum. pokuse, 29: 275–294.
- Željezić, A., 2008: Struktura troškova šumskouzgojnih radova i uspješnost obnove sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) smanjenog obrasta u g. j. Posavske šume-Sunja. Diplomski rad, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 46.

Summary:

Pedunculate oak forests in Croatia are characterized with an irregular age-class distribution (larg share of mature stands), pedunculate oak dieback and decreasing stand structure quality, as well as large sized stands and they spatial heterogeneity (density of pedunculate oak). Future management and development of the forest depend on actual age-class structure, intensity and spatial-temporal dynamics of forest regeneration. Thereby, spatial dividing of an appropriate size areas (new stands) and defining priority of their regeneration over future periods, which should be based on an objective criteria (e.g. potential rent difference as a consequence of the decision of regeneration (prompt or adjournment) of a potentially mature pedunculate oak stands), is key question. Based on developed computer program application, paper aim is to research effects of two opposite approaches of regeneration priority stand ranking and different intensities of forest regeneration on: stands growth, development of age-class structure and spatial forest structure, as well as possible trends in amounts and values of future revenues.

Object of the research is real even-aged forest (management class of pedunculate oak) in Opeke management unit. Area of the forest is 429.5 ha divided into 26 stands of average area of 16.5 ha. Youngest stand is 107 years old and the oldest is 185 years. There is large deviation between actual and theoretical age-class distribution of the forest (table 1).

Projection of management and spatial-temporal development of the even-aged pedunculate oak forest over future fourteen 10-year periods (rotation) is performed by computer program SIMPLAG (Teslak i dr., 2012). Within "theoretical" intensity of regeneration (30 ha in 10-year regeneration area, 2–6 ha stand regeneration size, 250 m minimal distance between regenerated stands), and intensive regeneration (50 ha in 10-year regeneration area, 3–13 ha stand regeneration size, 250 m minimal distance between regenerated stands), there were two approaches of regeneration priority stand ranking:

- stand regeneration ranking according to lowest potential rent difference (poor structure stand has highest regeneration priority – NSR);

– stand regeneration ranking according to highest potential rent difference (well structure stand has highest regeneration priority – OSR)

Different management approach validation is performed using comparison and deviation indices (actual vs. theoretical management criteria average deviation).

Results showed that less intensive regeneration approach with appurtenant requirements would lead to development of an optimal forest structure as to larger number, smaller sized (5 ha average area), and more homogeneous stands (fig. 1a). Development of age-class forest structure has indirectly manifested in trends of average stand age (fig. 1b). An approach of intensive forest regeneration would result with fast decrease of average stand age, oscillating around theoretical stand age and never would achieve theoretical age-class structure. A question of maintenance and conservation of pedunculate oak stands for long period, up to stand age above 250 years, is very important, particular in a case of less intensive regeneration over long regeneration period of forest.

Influence of forest regeneration intensity and approach of regeneration priority stand ranking on trends and total amount of forest growing stock, intermediate and regeneration fellings (fig. 2, tab. 2 and 3), as well as on value of fellings (fig. 3, tab. 2 and 3), has obtained. More intensive regeneration would result with larger average growing stock, total fellings and gross/net value of fellings, meanwhile with large deviations around theoretical models. Approach of priority regeneration of poor quality stands would achieve larger amounts of fellings and revenues too, but with less deviations, what is in terms of sustainability, more acceptable.

Future forest management for the forest (and forests of such structure) based on gradually forest regeneration over longer period, by priority regeneration of areas up to 5 ha within poor quality structure parts of current forest stands (new stands), is recommended. This management approach would lead to forming of an appropriate spatial forest structure and development of a balanced age-class structure, with the highest ecological and economic effects.

KEY WORDS: pedunculate oak, age-class distribution, stand structure, rent, regeneration priority, planning of regeneration felling