

ODABIR PRILAGODLJIVOG MODELA GOSPODARENJA NA TEMELJU DUGOROČNE PROJEKCIJE RAZVOJA DINARSKIH JELOVO-BUKOVIH SASTOJINA

CHOICE OF ADAPTIVE FOREST MANAGEMENT MODEL BASED ON LONG-TERM PROJECTION IN DINARIC FIR-BEECH STANDS

Krunoslav TESLAK¹, Marijana ANDABAKA¹, Andrea MERTINI², Karlo BELJAN¹, Mislav VEDRIŠ¹

SAŽETAK

Raznodobne jelovo-bukove šume u Republici Hrvatskoj zauzimaju oko 157 000 ha. Tijekom povijesti njima se upravljalo različitim načinima gospodarenja, od jednodobnog do prebornog gospodarenja. Kao rezultat povijesne integracije hrvatskog šumarstva u njemačku šumarsku školu i uz jedinstvene ekološke značajke dinarskog područja, primarno se primjenjuje preborni način gospodarenja. U današnje vrijeme zbog različitih biotskih i abiotskih utjecaja, većina bukovo-jelovih šuma u Hrvatskoj ima prijelaznu strukturu između jednodobne i one preborne. Strukturu karakterizira velika drvena zaliha, mali prirast, loša vitalnost, slaba obnova jele i sve veći udio obične bukve. Takav ogledni primjer je i stalna pokusna ploha koja se nalazi u sjevernom dinarskom području Hrvatske i kojom gospodare "Hrvatske šume" d.o.o. Zagreb, a ujedno je i predmet ovog istraživanja. Cilj članka jest istražiti različite modele određivanja sječa koji će usmjeriti šumu u stabilniju prebornu strukturu s optimalanim prirastom i s odgovarajućim volumnim udjelom jele. Ulazni podaci dobiveni su sukcesivnim mjerenjima na stalnoj pokusnoj plohi u bukovo-jelovoj sastojini. Simulator šumskih stabala i sastojina, MOSES version 3.0, testiran je na primjenjivost u lokalnim uvjetima i korišten je za projekciju budućeg gospodarenja. Četiri scenarija temeljena na različitim modelima izračuna sječe korištena su za simulaciju mogućih smjerova budućeg gospodarenja s naglaskom na ciljani volumni udio jele, prirodnu obnovu jele, uspostavu i održavanje preborne strukture. Svi scenariji predviđaju smanjenje volumena jele praćeno agresivnom regeneracijom obične bukve te djelomično postizanje preborne strukture. Krajnje strukture šumskih sastojina (nakon 110 godina) uspoređene su i rangirane na temelju sastojinskih i ekonomskih pokazatelja. S gledišta ekološke, šumsko-gospodarske i ekonomske održivosti, model izračuna sječe koji je temeljen na trenutnoj drvnj zalihi i desetogodišnjem prirastu pokazao se kao najbolji među istraženim scenarijima.

KLJUČNE RIJEČI: bukovo-jelove šume, drvena zaliha, procjena etata, model gospodarenja, MOSES simulator rasta

UVOD INTRODUCTION

U Hrvatskoj preborno gospodarenje vezano je uz rasprostranjenost obične jele. Šume u kojima se javlja jela zauzi-

maju površinu 315 000 ha ili oko 12% površine šuma, dok preborne jelove šume čine oko 157 000 ha (Čavlović 2010). Dolaze u više tipova ovisno o matičnom supstratu, nadmorskoj visini, bioklimatskoj zoni te posljedično biljnoj zajednici (Tablica 1).

¹ izv. prof. dr. sc. Krunoslav Teslak, dr. sc. Marijana Andabaka, doc. dr. sc. Karlo Beljan, izv. prof. dr. sc. Mislav Vedriš. Fakultet šumarstva i drvene tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Svetošimunska cesta 23, HR-10000 Zagreb

² Andrea Mertini, univ. bacc. ing. silv., Krležina 9, HR-52100 Pula
Korespondencija: Karlo Beljan, e-mail: kbeljan@sumfak.unizg.hr

Tablica 1. Strukturna obilježja jelovih i bukovo-jelovih šuma u Hrvatskoj (Čavlović 2010).**Table 1.** Current characteristics and structure of fir and beech-fir forests in Croatia (Čavlović 2010).

Regija <i>Region</i>	Tip šume <i>Forest type</i>	Fitocenoza <i>Plant association</i>	Površina (ha) <i>Area (ha)</i>		Vrsta drveća <i>Tree species</i>	Drvena zaliha ($m^3 ha^{-1}$) <i>Growing stock ($m^3 ha^{-1}$)</i>			Ukupno <i>Total</i>
			Preborne Selection	Ukupno <i>Total</i>		Debljinski razred <i>Diameter classes (cm)</i>			
						10–30	31–50	51+	
Dinarska <i>Dinaric</i>	Jela <i>Fir</i>	Blechno– Abietetum	14739	28350	Fir <i>Jela</i>	45,4	82,5	98,3	226,2
					Other	26,6	48,5	57,7	156,1
	Jela i bukva <i>Fir and beech</i>	Omphalodo– Fagetum	137191	276491	Fir <i>Jela</i>	19,7	42,2	37,6	99,6
					Other	46,1	85	60,1	191,1
Panonska <i>Pannonian</i>	Bukva i jela <i>Beech and fir</i>	Festuco– Abietetum	5040	10020	Fir <i>Jela</i>	20,7	44,5	25,6	90,9
					Other	48,2	102	55,9	206,1
Ukupno <i>Total</i>			156970	314861	Fir <i>Jela</i>	22	45,9	42,7	110,7
					Other	44,4	82,3	59,8	186,4

Unutar prikazanih tipova jelovih šuma Hrvatske (Tablica 1) objedinjene su gospodarske šume na kvalitetnijim staništima, ali i visokogorske bukovo-jelove šume zaštitnoga karaktera u kojima su gospodarski zahvati svedeni na minimum. Značajne površine bukovo-jelovih šuma u nekom su obliku zaštite, počevši od nacionalnog parka, preko parkova prirode do zaštitnih šuma, što ukazuje na njihovu općekorisnu vrijednost u osjetljivom i zahtjevnom staništu gorskih šuma hrvatskog dijela Dinarida. Na teške stanišne uvjete određene plitkim i kamenitim tlom te kratkim vegetacijskim periodom, ukazuje i relativno mala drvena zaliha te prosječno III bonitet staništa (MP 2016.). Unatoč tomu, gotovo dvije trećine površine bukovo-jelovih šuma ima dominantnu funkciju proizvodnje drvnih sortimenata za koje je u Hrvatskoj uvriježen naziv gospodarske šume. Uglavnom su to sve jelove šume na silikatnoj geološkoj podlozi te dio jelovo bukovich šuma produktivnijeg staništa na vapneno-dolomitnoj podlozi. U takvim šumama veći je i udio jele u strukturi sastojina, a povijesno gledano sustavnije gospodarenje njima započinje osnivanjem šumarije u Krasnu 1765. godine, te se razvija kroz 19. stoljeće, prometnim otvaranjem Gorskog kotara i Like, ali i razvojem metoda uređivanja šuma posebno razvoja metoda prebornog gospodarenja šumama. Još od kraja 19 stoljeća za šume Karlovačkog generalata uvedeno je preborno gospodarenje, pa takav model ima dugu tradiciju u šumarstvu Hrvatske, kao posljedica povijesne integriranosti u austro-ugarsko šumarstvo (Francišković 1927.). U početku pod utjecajem njemačkog šumarstva podržava se razvoj četinjača, a iskorjenjuje se obična bukva (Kern 1898, 1909.). Strani privatni vlasnici često izostavljaju potpunu provedbu prebornog gospodarenja te šume odr-

žavaju kao neaktivni (mrtvi) kapital, a što je izraženije u dijelovima Gorskog kotara. Značajan dio šuma cijelog područja u državnom vlasništvu također nije bio intenzivno gospodaren zbog nepristupačnosti (Božić 2001.).

Navedene okolnosti i pristup oblikuju šume strukturom slične jednodobnim čistim sastojinama četinjača. Slični negativni trendovi razvoja strukture jelovih šuma zabilježeni su istraživanjima u Hrvatskoj (Klepac 1995, Čavlović i Mraović 1997, Čavlović i dr. 2006.), ali i u drugim državama srednje Europe (Schütz 1975, 1992, Korpel 1982, Bončina i dr. 2002, 2011, Diaci 2006, Ficko i dr. 2011.). Najznačajnije strukturne promjene ogledaju se u povećanju udjela obične jele u drvnj zalihi (na štetu svih ostalih vrsta), nagomilavanje drvene zalihe koju čine pretežno prestara i slabo vitalna stabla jele, te izostanak prirodne regeneracije jele. Pretpostavka je da su nedostaci u načinu gospodarenja vodeći uzrok negativnih promjena u strukturi sastojina (Matić i dr. 2006.), iako su slične promjene uočene i u negospodarenim šumama (Roženbergar et al. 2007, Diaci et al. 2011.). Slabo-intenzivno gospodarenje očekivano formira i trajno podržava strukturu sastojine istovjetnu jednodobnoj fazi prašume.

Posebice zabrinjavajući problem je slaba obnova jele, što je obuhvaćeno brojnim istraživanjima (Korpel 1985, Roženbergar i dr. 2007, Teslak i dr. 2020.), ali i sušenje jele (Larsen 1986, Elli i Luhmann 1996, Linares i Camarero 2012, Ugarković i dr. 2021a.). Za uzroke sušenja navode se klimatske promjene i zagađenost zraka, no teško je razlučiti koliko je proteklo gospodarenje, odnosno postojeća starosna struktura stabala i povezano vitalnost stabala (Ugarković i dr. 2011.) doprinijela sušenju. Novija istraživanja uka-

zuju na određeni opravak stabala jele uslijed smanjenja emisija štetnih plinova osuvremenjavanjem i gašenjem energana i druge industrije (Čavlović i dr. 2015). U okolnostima nagomilane, prezrele drvene zalihe logičan i očekivani slijed događaja je značajnija pojava slučajnih prihoda (Ugarković i dr. 2021a, Čavlović i dr. 2021a) kao posljedica prirodnih procesa težnje šume za obnovom i mogućom izmjenom vrsta. Slučajni prihodi nepredvidivi su po iznosu, i po prostoru i u vremenu te iznimno otežavaju planiranje i samu provedbu gospodarenja šumama, kao i činjenicu da udaljavaju strukturu šume od ciljanih optimalnih modela prebornog gospodarenja.

Preborni model gospodarenja posebno je pogodan za bukovo-jelove šume Dinarida (Bončina 1994, Klepac 1995, Čavlović 2006, Bončina i dr. 2002, Čavlović i dr. 2021a i 2021b.) koje i prirodno uspostavljaju strukturu nalik prebornoj (Diaci i dr. 2011.). Nagle i česte izmjene u dubini tla na malom prostoru i velika kamenitost uzrokuju izmjenu pojedinačnih ili malih grupa stabala različitih dimenzija na malom prostoru, što u prašumskim sastojinama nalikuje na strukturu preborno gospodarene sastojine, odnosno trajnu prebornu fazu u razvoju prašume (Anić i Mikac 2008.).

Osjetljivost i zahtjevnost staništa, posebno potreba očuvanja šumskog tla te ekološka obilježja skiofilne jele, neosporno nameću potrebu primjene modela gospodarenja koje osigurava trajnu pokrivenost zemljišta i znatnu drvenu zalihi. Iznova je to prepoznao akademik Klepac te objavom „Novog sustava gospodarenja prebornim šumama“ 1961. godine te uspostavljanjem tog sustava u svim šumama koje u strukturi imaju jelu ponovno promovira preborno gospodarenje u Hrvatskoj. Osnovno obilježje teoretskog modela prebornog gospodarenja je periodička sječa jednaka iznosu volumnog prirasta cijele šume (Schütz 1989, O'Hara i dr. 2007.). Sječa se ne provodi na cijeloj površini šume svake godine već periodički (ophodnjica), u Hrvatskoj svakih 10 godina na desetini ukupne površine šume. U takvom obliku gospodarenja iznimno je važno precizno utvrditi prirast sastojina, jer je etat iznosom jednak prirastu samo u šumama u kojima je uspostavljena idealna preborna struktura predstavljena padajućom distribucijom broja stabala po debljinskim stupnjevima. S obzirom da u gospodarskim šumama obične jele i obične bukve u Hrvatskoj više-manje nikada nije uspostavljena idealna struktura, sječa iznosom jednaka aktualnom prirastu neće omogućiti pokretanje procesa transformacije u dijelu šuma s obilježjima jednodobne strukture. Stoga je prilikom određivanja količine sječe uvedena korekcija odnosa prirast-etat pomoću obrasta sastojine (Klepac 1961.).

Sve navedeno primjenjuje se proteklih 60 godina ili 6 ophodnjica po 10 godina te bi bilo za očekivati pozitivne promjene u smislu uspostave stabilne preborne strukture, trajne regeneracije u sastojinama i zadovoljavajuću produktivnost u smislu proizvodnje drvnih sortimenata. Međutim strukturalni

pokazatelji (Čavlović i dr. 2021b) te stanje obnove (Teslak i dr. 2016, Ugarković i dr. 2018.) ukazuju na suprotno zbog nedosljedne primjene deklariranog modela u operativnoj praksi. Nedostaci se ogledaju u izgradnji normala za koje su korištene strane korelacije u prebornim šumama, a posebno pri određivanju drvene zalihe prije i poslije sječe na temelju vremena prelaska (Klepac 1961.). Vremena prelaska zadiru dublje u povijest dinamike šume, a za izgradnju teoretskih modela nužno je da uzorak potječe iz preborne šume teoretske optimalne strukture. U suprotnom prirast, a time i iznos sječe bit će podcijenjen, a gospodarenje neprikladno. Primjer za treću Klepčevu normalu gdje je zaliha prije sječe npr. $V_1 = 394 \text{ m}^3/\text{ha}$, a nakon sječe $V_0 = 299 \text{ m}^3/\text{ha}$, ako primijenimo ispravno Leibnitzovu formulu (Formula 1)

$$p = 100 * \left(\sqrt[l]{\frac{V_1}{V_0}} - 1 \right)$$

Formula 1 – Equation 1

postotak volumnog prirasta nakon 10 godina ($l=10$) iznosi $p = 2,8 \%$ koji je iskazan složenim kamatnim računom (godišnji iznos). Dalje ako primijenimo Klepčevu formulu (Klepac 1961. tj. Formulu 2) za etat;

$$E = V_K * \left(1 - \frac{1}{1,0p^l} \right) * \frac{V_K}{V_N}$$

Formula 2 – Equation 2

gdje je:

- V_K – drvena zaliha sastojine pred sječom,
- p – složeni postotak godišnjeg volumnog prirasta u toj sastojini u proteklih deset godina,
- V_N – teoretska drvena zaliha sastojine pred sječom sukladno odabranom BDq modelu,
- l – duljina ophodnjice

dolazimo do etata od $95 \text{ m}^3/\text{ha}$ što na zalihi neposredno pred sječom čini intenzitet od $2,45 \%$ godišnje (jednostavan kamatni račun), odnosno $24,5 \%$ nakon 10 godina. Problem je što je u sastojinama narušene preborne strukture prirast znatno manji, a u sastojinama pri operativnom uređivanju izmjerena drvena zaliha u većini sastojina nije ona koja će biti u trenutku neposredno prije sječe. Na primjer V_K tri godine nakon sječe je $505 \text{ m}^3/\text{ha}$, a postotak prirasta utemeljen na volumnom prirastu na temelju vremena prelaska za proteklo razdoblje u sastojinama (problem vezanja na povijesnu strukturu preko vremena prelaska koje može ići i do 50 pa i više godina unazad) iznosi primjerice $1,6 \%$. Tada prirast iznosi $74,12 \text{ m}^3/\text{ha}$, a etat uz korekciju obrastom iznosi ponovno $95 \text{ m}^3/\text{ha}$. Kada se tako izračunat etat primijeni na zalihi koju očekujemo pred sječom ($612,7 \text{ m}^3/\text{ha}$) dobijemo intenzitet preborne sječe od $15,5 \%$. To je na razini intenziteta njege sastojine prorjedom i ne može promovirati procese uspostave preborne strukture, štoviše pro-

blem se sa svakom sljedećom ophodnjicom produbljuje i intenzitet sječa s vremenom opada. Na dugoročnu neodrživost i produbljivanje problema te nužnost prilagodbe modela gospodarenja, odnosno uvođenje prilagodljivog, dinamičnog modela gospodarenja upozoravaju brojni stručni i znanstveni radovi (O'Hara 2001, Bončina i dr. 2002, Čavlović i dr. 2006, Bončina 2011, Diaci i dr. 2011.).

Početak novog tisućljeća prepoznati su nedostaci primjene Klepčevog modela (1961.) u praktičnom šumskogospodarskom planiranju te se predlaže uvođenje teoretskog prirasta u Klepčevu formulu (Formula 2) kako bi se odredio iznos sječe (Čavlović i dr. 2000, Čavlović i dr. 2006, Čavlović i dr. 2021a.). Za spomenuti primjer uz teoretski postotak prirasta od 3 % intenzitet sječe bi iznosio oko 27 %. Na temelju toga prilagođava se i regulativa povećanjem dozvoljenog intenziteta preborne sječe na 30 % (NN 111/2006, NN 97/2018.).

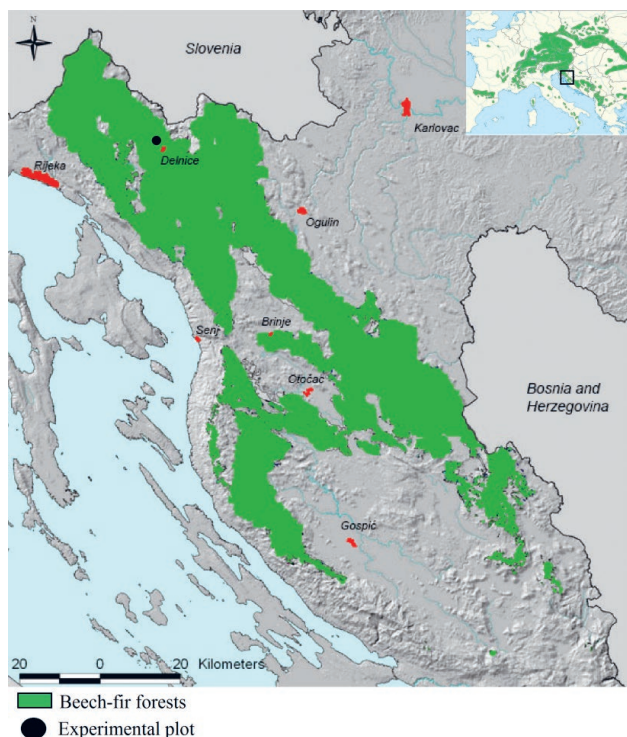
Primjena novog pristupa dugoročno je održiva samo ako šuma istovremeno reagira intenzivnim prirastom i još intenzivnijom regeneracijom. U suprotnom postoji opasnost od pojave regresije sastojine kroz pojavu pionirskih, pa i invazivnih vrsta drveća uslijed preneglog gubitka strukture sastojine te izmjene u strukturi vrsta, jer navedeno više odgovara regeneraciji obične bukve. Udio listača ograničen je pojavom ledenih oluja u kojemu one u usporedbi prema četinjačama značajno više stradavaju (Nagel i dr. 2016, Teslak i dr. 2020, Klopčić i dr. 2020.). Stoga je potrebno istražiti dugoročne posljedice primjene različitih modela prebornog gospodarenja te njihov utjecaj na unaprijeđenje postojeće strukture i poticanje regeneracije u jelovo-bukovim šumama, a također koji su alternativni modeli određivanja iznosa sječe, ali i njene raspodjele u prostoru.

Primarni cilj ovoga rada je istražiti buduće scenarije gospodarenja bukovo-jelovim šumama u okviru mogućih modusa određivanja i provedbe preborne sječe. Dok se sekundarni cilj odnosi na obabir najprihvatljivijeg modela koji bi se trebao provoditi u praksi. Dugoročno provjeriti primjenu pojedinog scenarija te u kratkom vremenu dobiti rezultate, moguće je samo u simulatorima razvoja sastojina. Stoga su temeljni zadaci ovoga rada: i) projekcija razvoja strukture bukovo-jelove sastojine nepravilne strukture uz primjenu različitih modela određivanja i provedbe preborne sječe, ii) usporedba projiciranih razvoja strukture s teoretskom tj. normalnim razvojem strukture, iii) međusobna usporedba i vrednovanje pojedinih modela tj. scenarija razvoja.

MATERIJAL I METODE MATERIAL AND METHODS

Područje istraživanja – Research area

Trajna pokusna ploha površine 0,36 hektara (Slika 1) nalazi se u Gorskot kotaru unutar gospodarske jedinice Delnice.



Slika 1. Raspostranjenost obične jele u Europi i dinarske jelovo-bukove šume u Hrvatskoj (Jelaska 2005).

Figure 1. Distribution area of silver fir in Europe and in Croatia Dinaric region (Jelaska 2005).

Gospodarska jedinica Delnice prostire se sjeverno od grada Delnice, obuhvaća zaravan na tri umjereno visoke gore, nadmorske visine u rasponu od 680 do 710 m s tipčnim prebornim gorskim šumama obične bukve i obične jele (*Omphalodo – Fagetum* (Tregubov 1957.) Marinček i dr. 1957.) (Anon 2011.).

Klimatska i stanišna obilježja Gorskog kotara kao šireg područja istraživanja ovoga rada detaljno su prikazana u već postojećim objavama (Ugarković i dr. 2018.). Samu pokusnu plohu obilježava smeđe tlo na vapneno dolomitnoj podlozi umjerene do male kamenitosti, što predstavlja vrlo produktivno stanište posebno za običnu jelu gdje najviša stabla dosežu visinu i do 40 m.

Terenska izmjera – Field measurements

Pokusna ploha predstavlja tipične strukturne i stanišne karakteristike gospodarski najvrjednijih jelovo-bukovih sastojina te je uspostavljena za trajno praćenje njihovog razvoja. Prvi put je mjereno u proljeće 1992., zatim 2002. i 2012. godine. Na pokusnoj plohi evidentirana su i obrojčana sva stabla ($d_{1,30} > 10$ cm) neovisno o razvojnom stadiju te je bojom označeno mjesto za opetovanu izmjeru prsnog promjera. Svakom stablu određen je prostorni položaj na pokusnoj plohi u relativnom koordinatnom sustavu, položaj s obzirom na nadmorsku visinu, izmjeren je prsni promjer, visina i visina početka krošnje. Posječena stabla,

kao i godina njihove sječe, također su detaljno zabilježena. Pri svakoj izmjeri s posebnom pozornošću evidentira se pomladak koji se pojavi unatrag 10 godina ili od prošle izmjere.

Protoklo gospodarenje i teoretski model – *Past management and the theoretical model*

Dosadašnji postupci gospodarenja provedeni su prema propisu Odjela za uređivanje šuma Uprave šuma-podružnice Delnice, a proveli su ih djelatnici šumarije Delnice. Gospodarski postupci sukladni su standardnom gospodarenju prebornim šumama (Klepac 1961.) a provedeni su jednako kao i u okolnoj, pripadajućoj sastojini. Glede boniteta staništa (jela II, bukva III) konstruirana je teoretska padajuća distribucija stabala (normala) na temelju odnosa između broja stabala dva susjedna debljinska stupnja (q), promjera sječive zrelosti (D_{\max}) te optimalne temeljnice (BDq model). Optimalni, ciljani omjer smjese je 80% drvene zalihe obične jele i obične smreke, 20% obične bukva i druge listače. Prema tomu, teoretska distribucija za običnu jelu određena je sa $q=1,6$, $D_{\max}=70$ cm, i $G=27,7$ m²/ha, odnosno za običnu bukvu i ostale listače $q=1,44$, $D_{\max}=50$ cm, i $G=7,9$ m²/ha. Na temelju tarifa (Pranjić 1966.) izračunata je ukupna teoretska drvena zaliha prosječnog hektara u sredini ophodnjice ($V_{N,5}$) od 431,7 m³/ha, odnosno neposredno pred sječju (V_N) od 461,5 m³/ha. Iznos ukupne preborne sječe (E) na razini sastojine standardno se izračunava prema Formuli 2.

Raspodjela sječe prema debljinskim razredima i vrstama drveća određuje se usporedbom stvarne i teoretske debljinske strukture, razmatrajući dinamiku strukture sastojine, a u skladu s generalnom strategijom gospodarenja prebornim šumama jele (Klepac 1961.). Prema tomu, obrazcu predmetna sastojina gospodarena je u proteklom, 50-godišnjem razdoblju, tj. do 2012. kada je napravljena posljednja sječa.

Projekcija razvoja sastojine – *Projection of stand development*

Za projekciju budućeg razvoja sastojine izabrana su četiri različita scenarija budućeg gospodarenja. Scenariji se međusobno razlikuju prema načinu određivanja iznosa preborne sječe kao osnovnog alata usmjeravanja razvoja prema strukturi sastojine određenoj odabranim teoretskim modelom optimalne strukture preborne sastojine.

Scenarij 1 obilježava periodička (svakih 10 godina) primjena sječe (E) u iznosu jednakom teoretskom ukupnom postotku prirasta od 25% drvene zalihe (V) (sukladno odabranom BDq modelu):

$$E = V * 0,25$$

Formula 3 – Equation 3

U scenariju 2 sječa (E) je jednaka periodičkom prirastu ostvarenom u prethodnom 10 godišnjem razdoblju (I_t) uve-

ćanom za razliku između stvarne (V_K) i teoretske drvene zalihe (V_N) sastojine:

$$E = I_t + (V_K - V_N)$$

Formula 4 – Equation 4

Za scenarij 3 iznos preborne sječe je jednak proteklom periodičkom (10-godišnjem) prirastu (I_t) uvećanom za iznos drvene zalihe iznad dimenzije sječive zrelosti 70 cm ($V_{DBH>70}$).

$$E = I_t + V_{DBH>70cm}$$

Formula 5 – Equation 5

Određivanje ukupnog iznosa preborne sječe u scenariju 4 istovjetno je standardnom teoretskom postupku u gospodarenju prebornim jelovim šumama u Hrvatskoj, tj. prema već opisanoj Formuli 2.

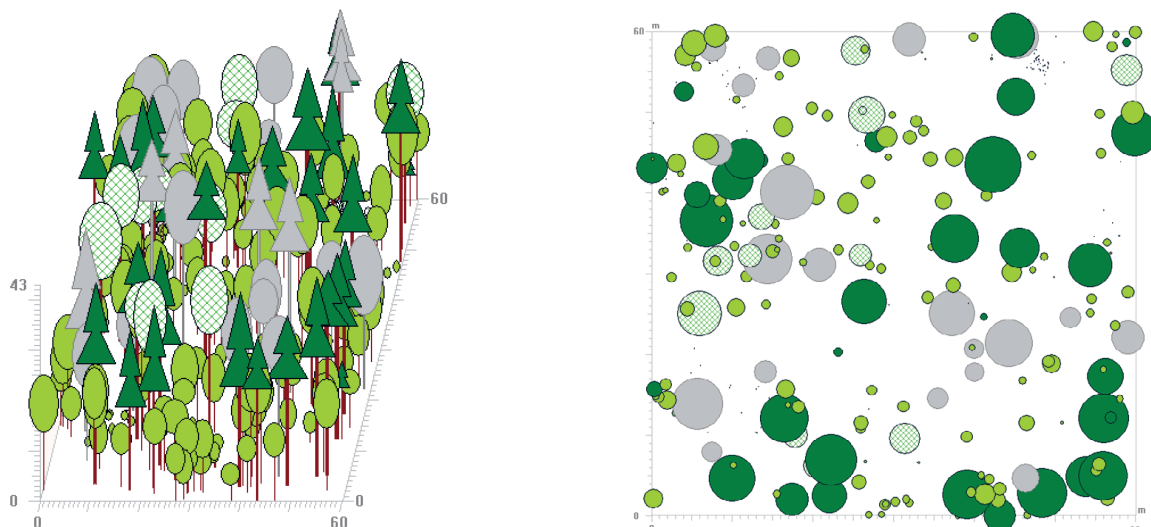
U sva četiri scenarija raspodjela izračunatog etata (doznaka) po vrstama drveća i debljinskoj strukturi određena je prema pretpostavljenim temeljnim ciljevima (načelima) prebornog gospodarenja u Hrvatskoj:

1. Što skorija uspostava i održavanje preborne strukture
2. Održavanje udjela jele radi osiguravanja prirodne obnove
3. Iniciranje i održavanje pomlađivanja jele
4. Uspostava teoretskog omjera drvene zalihe prema vrstama drveća
5. Podržavanje razvoja najkvalitetnijih stabala obične bukve uz reduciranje njene prekobrojnosti
6. Poticanje razvoja plemenitih listača (gorskog javora)

Projekcija razvoja sastojine za sva četiri scenarija provedena je programom MOSES 3.0. (Hasenauer i dr. 2006, Mikac i dr. 2013, Thurnher i dr. 2017.). Prije primjene program MOSES prilagođen je za obračun prema lokalnim volumnim jednadžbama za običnu jelu i običnu bukvu (Špiranec 1975, 1976.) te je prirast testiran za lokalne uvjete na temelju evidentiranog proteklog razvoja i razvoja projiciranog pomoću modela. Postupak i rezultati testiranja primjenjivosti simulatora MOSES 3.0 opisani su u radu Čavlović i dr. (2021b.). Kako su sva četiri scenarija projicirana istim modelima razvoja, mortaliteta i regeneracije, pretpostavka je da su pogreške u projiciranom budućem prirastu podjednake kod svih scenarija. Prema tomu, buduća struktura za sva četiri scenarija pogodna je za međusobnu usporedbu.

Vizualizacija stanja strukture na istraživanoj plohi koju za svaki korak projekcije prikazuje MOSES, omogućava odabir stabala za sječju slično ili bolje nego u realnim uvjetima (Slika 2).

Za svaki korak projekcije kao rezultat predikcije gospodarenja primjenom pojedinog scenarija dobivene su dimenzije (prsni promjer i visina) stabala svih razvojnih stadija i vrsta drveća, kao i posječenih i odumrlih stabla te priljev stabala. Iz navedenih osnovnih varijabli izvedene su sve



Slika 2. Prikaz strukture sastojine (aksonometrija i tlocrt) na dijelu plohe sa simuliranim odabirom stabala za prebornu sječu prema scenariju 4 (tamno zeleno: obična jela, svjetlo zeleno: obična bukva, svjetlo zeleno šrafrirano: gorski javor, sivo: doznaka svih vrsta drveća).

Figure 2. Stand structure overview (axonometry and layout) including trees marked for felling according to scenario 4 (dark green: silver fir, light green: common beech, light green hatched: Sycamore maple, gray: marked for removal (all tree species)).

ostale varijable kao što su temeljnica, drvena zaliha, prirast, iznos sječe, sve po vrstama drveća i debljinskim stupnjevima. Razvoj strukture sastojine projiciran je za 12 budućih desetogodišnjih gospodarskih razdoblja, uz korak prikaza podataka i sječe svakih 10 godina.

Vrednovanje scenarija – Evaluation of scenarios

Suvremeni model gospodarenja mora biti sveobuhvatno prihvatljiv, stoga i njegovo vrednovanje mora biti višekriterijsko. Zato je za usporedbu uspješnosti scenarija izdvojeno 9 obilježja: drvena zaliha (m^3/ha), broj stabala (n/ha), prsni promjer srednjeplošnog stabla (cm), udio jelovine u drvnoj zalihi (%), postotak volumnog prirasta (%), priljev stabala ($\text{n}/\text{ha}/\text{godisnje}$), vrijeme prelaska (godina), etat ($\text{m}^3/\text{ha}/10$ godina), neto sadašnja vrijednost (NPV) (eur/ha). Indikatori su izabrani iz niza ekonomskih, strukturalnih i šumskogospodarskih obilježja uz pomoć standardizacije varijabli i klusterske analize, kako bi se izbjeglo preklapanje njihova utjecaja. Za svaki pokazatelj izračunata je prosječna vrijednost tijekom 11 projekcijskih razdoblja, dok je za ekonomski pokazatelj NPV izračunat ukupno ostvareni prihod tijekom cjelokupnog razdoblja projekcije.

Nadalje, izračunat je indeks prosječnog odstupanja od teoretskog modela (I_{DEV}) za svaki pojedini pokazatelj na temelju Formule 6 (Čavlović i dr. 2012.):

$$I_{DEV} = \frac{\sum_{t=1}^{11} |X_{SC_t} - X_N|}{\sum_{t=1}^{11} X_{N_t}}$$

Formula 6 – Equation 6

gdje je t - broj gospodarskih polurazdoblja, X_{SC} - promatrani kriterij ostvaren primjenom pojedinog scenarija i X_N - teoretska vrijednost promatranog čimbenika. Za sva četiri scenarija na temelju prosječnog indeksa odstupanja odvojeno po skupinama vrsta drveća i ukupno napravljeno je njihovo rangiranje. Vrednovanje svakog scenarija provedeno je usporedbom istovjetnih indikatora odabranog, ciljanog teoretskog modela. Sagledavajući višekriterijski i kritički na taj način je omogućeno vrednovanje svakog pojedinog scenarija tj. modela gospodarenja obilježenog načinom određivanja iznosa i same provedbe preborne sječe.

REZULTATI RESULTS

Godine 2012. (početne godine za simulaciju budućih scenarija gospodarenja) na plohi je evidentirano ukupno 500 stabala promjera iznad 10 cm koja imaju drvenu zalihu od $704 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Tablica 3). Ukupno gledano temeljnica (6,7%) i drvena zaliha (52,6%) veći su, a broj stabala (19,6%) manji je odnosu na postavljene teoretski model neposredno prije sječe (BDq), prema kojemu se načelno gospodari proteklih 50 godina. Još značajniji problem je u odstupanju postojeće distribucije stabala po debljinskim stupnjevima u odnosu na teoretsku. Dvije trećine (oko 70%) stabala jele promjera je iznad 50 cm. S druge strane gotovo sva stabla obične bukve tanja su od 30 cm. Udio drvene zalihe stabala promjera iznad 50 cm je gotovo 65 %, značajno iznad teoretskog (45 %) (Tablica 3). Listače sudjeluju u drvnoj zalihi s oko 30%, što je nešto više od odabranog teoretskog modela (20 %).

Tablica 2. Struktura pomlatka na plohi 2012. godine (početak projekcijskog razdoblja) po hektaru.

Table 2. Regeneration on the plot (n/ha) in the year 2012 (beginning of the simulation period).

	Mala stabalca <i>Small seedlings</i> ($h \leq 0,5$ m)	Viša stabalca <i>Tall seedlings</i> ($h = 0,5$ to $1,3$ m)	Mlađa stabalca <i>Saplings</i> (dbh ≤ 5 cm)	Mlada stabla <i>Young trees</i> (dbh 5 - 10 cm)
Obična jela – <i>Silver Fir</i>	0	0	0	0
Obična Bukva – <i>Common Beech</i>	45	48	61	122
Gorski javor – <i>Sycamore Maple</i>	156	3	0	3
Ukupno – <i>Total</i>	201	51	61	125

Izostanak tanjih stabala jele ukazuje na slabu obnovu tijekom proteklog dužeg razdoblja. S druge strane obična bukva se vrlo intenzivno obnavlja unatrag posljednjih nekoliko desetljeća. Na stanje obnove sastojine ukazuje i zatečen broj pomladka tijekom izmjere na plohi 2012. godine: nije evidentirano niti jedno stablo jelovog pomladka bilo koje kategorije, dok se listače intenzivno obnavljaju (Tablica 2).

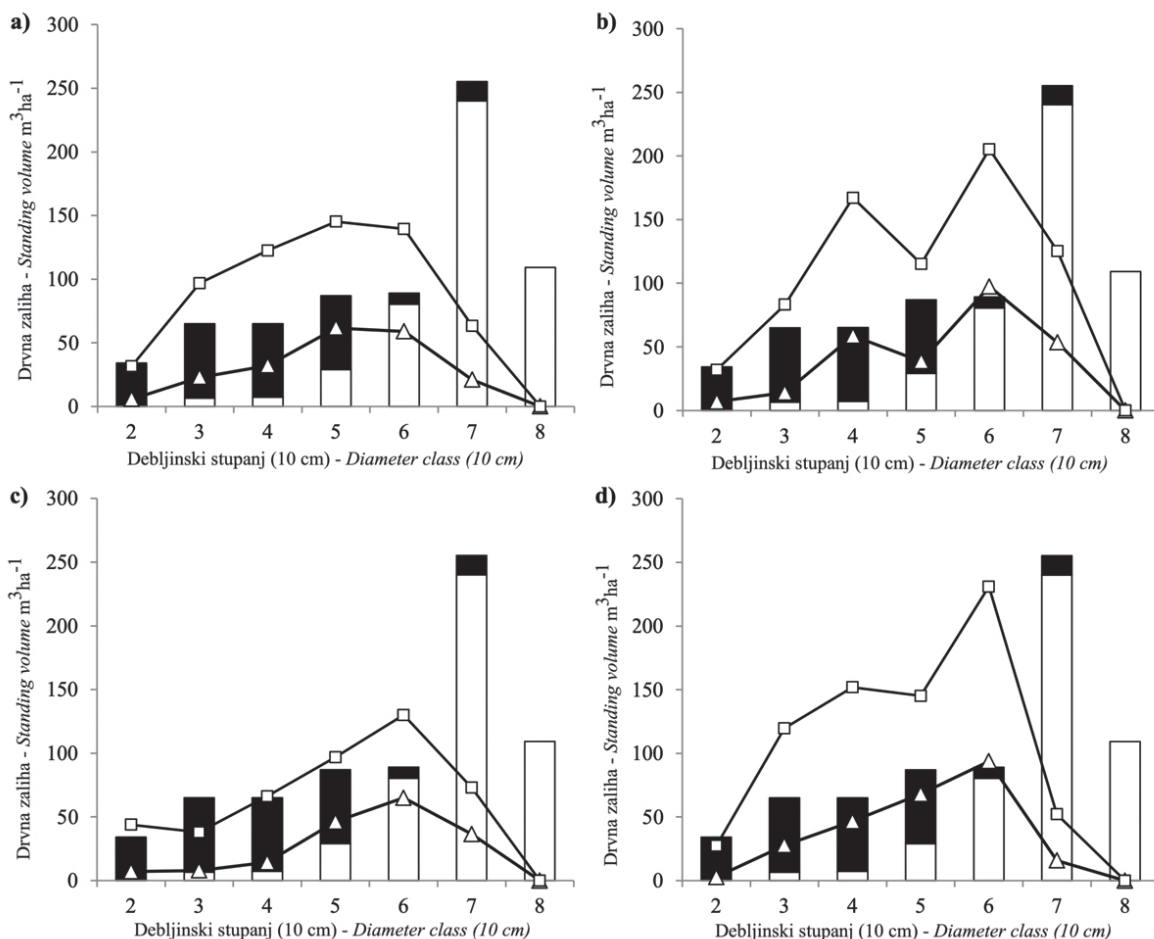
Provedena sječa tijekom 2012. godine u intenzitetu od 26% drvene zalihe usmjerena je na uklanjanje prezrelih i slabo vitalnih stabala jele, ali i sječu debljih stabala obične bukve (Tablica 3).

Prema četiri različita scenarija izračuna iznosa sječe (etata) te simulacije primjene sječe pomoću simulatora MOSES version 3.0, projiciran je razvoj sastojine kroz budućih 110 godina. Odabirom stabala za sječu u okviru iznosa izračunatog etata za svaki pojedini scenarij nastojalo se primijeniti navedena temeljna načela prebornog gospodarenja u Hrvatskoj. S obzirom na početnu strukturu sastojine, glavna simulirane sječe odnosi se na uklanjanje prestarih i slabo vitalnih stabala jele promjera iznad 50 cm, a zbog obilnatog pomlađivanja listača, ponajprije obične bukve, velik dio sječe odnosio se na uklanjanje prekobrojnih i krošnjatih (nekvalitetnih)

Tablica 3. Početna, strukutra u sastojini i provedena sječa 2012. godine prema važećem uređajnom elaboratu.

Table 3. Initial stand structure and harvest performed according to forest management plan in the year 2012.

Struktura sastojine neposredno pred sječu <i>Stand structure before harvest</i>								
Vrsta drveća <i>Tree species</i>								Ukupno <i>Total</i>
Obična jela <i>Silver fir</i>			Obična bukva <i>Common beech</i>		Gorski javor <i>Sycamore maple</i>			
Prsni promjer <i>DBH</i> (cm)	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha
10-30	22,2	7,6	319,4	91,4	2,8	0,2	344,4	99,2
31-50	16,7	36,4	33,3	57,7	27,8	58	77,8	152,1
50<	72,2	429,8			5,6	23,7	77,8	453,5
	111,1	473,8	352,7	149,1	36,2	82	500	704,8
Struktura sječe <i>Structure of harvest</i>								
Vrst drveća <i>Tree species</i>								Ukupno <i>Total</i>
Obična jela <i>Silver fir</i>			Obična bukva <i>Common beech</i>		Gorski javor <i>Sycamore maple</i>			
Prsni promjer <i>DBH</i> (cm)	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha	Broj stabala <i>Trees</i> ha ⁻¹	Zaliha <i>Growing stock</i> m ³ /ha
10-30			22,2	19			22,2	19
31-50			25	42	5,6	14,1	30,6	56,1
50<	16,7	109,2		0			16,7	109,2
	16,7	109,2	47,2	61	5,6	14,1	69,5	184,3



Legenda - Legend

- Trenutna zaliha listača - Current broadleaf stock
- Trenutna zaliha jele - Current fir stock
- Ukupna simulirana zaliha - Total predicted stock
- △— Simulirana zaliha jele - Predicted fir stock

Slika 3. Projicirana struktura drvene zalihe na kraju projekcijskog razdoblja prema: a) scenariju 1, b) scenariju 2, c) scenariju 3 i d) scenariju 4. Obična bukva i gorski javor prikazani su u zajedničkoj kategoriji listača

Figure 3. Projected standing volume at the end of the projection period according to: a) scenario 1, b) scenario 2, c) scenario 3 and d) scenario 4. Beech and maple are presented together as broadleaf.

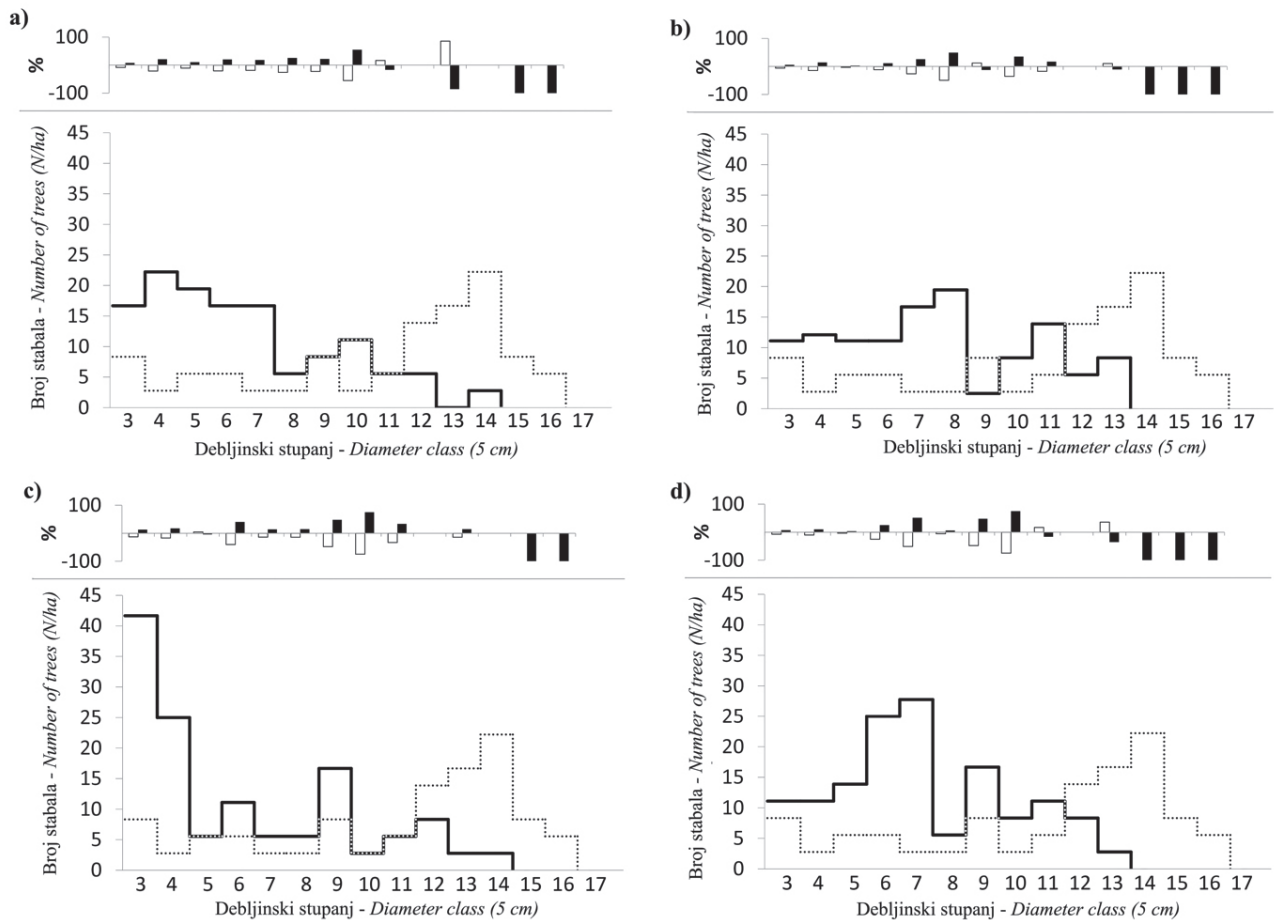
stabala obične bukve i gorskog javora. Sam iznos i dinamika sječe različita je za svaki od scenarija te je ovisna o projiciranom stanju sastojine u pojedinom trenutku.

Trend projiciranog razvoja strukture sastojine (Slika 3) pokazuje smanjenje drvene zalihe sastojine, posebice drvene zalihe stabala jele promjera iznad 70 cm. S druge strane ni nakon 110 godina prema projekcijama ne bi se u sastojini uspostavila dovoljna zastupljenost tankih i srednje debelih stabala jele. Dijelom bi njihovo mjesto zauzele obična bukva i gorski javor, čime bi ona značajno povećala udio u smjesi (Slika 3).

Promatrajući pojedinačno scenarije na kraju projekcijskog razdoblja, povoljnju prebornu i međusobno sličnu strukturu ostvarili bi scenariji 1, 2 i 4. Projekcija uz primjenu scena-

rija 3 na kraju projekcijskog razdoblja rezultirala bi strukturom obilježenom manjkom srednje debelih stabala. Izuzev nekoliko preostalih starih stabala prema scenariju 3, jela bi gotovo nestala iz sastojine. Zanimljivo da dugoročno sva četiri scenarija uspostavljaju sličnu strukturu s manjim udjelom jelovine (Slika 3).

Sva četiri scenarija predviđaju značajno intenzivniju sječicu nego što je bila kroz povijest gospodarenja ovom sastojinom. Tijekom budućih razdoblja značajno bi se smanjio broj prezrelih stabala obične jele, a pred kraj razdoblja pojavio bi se i priljev jele, što je posebno izraženo u scenariju 3 (Slika 3 i Slika 4) Iako obična bukva pokazuje smanjenje u broju stabala (Slika 4) raste njen udio u drvenoj zalihi (Slika 3).



Legenda - Legend

- Bukva i javor - Beech and maple
- Jela - Fir
- Jela u 2022. godini - Fir in year 2022
- Jela u 2122. godini - Fir in year 2122

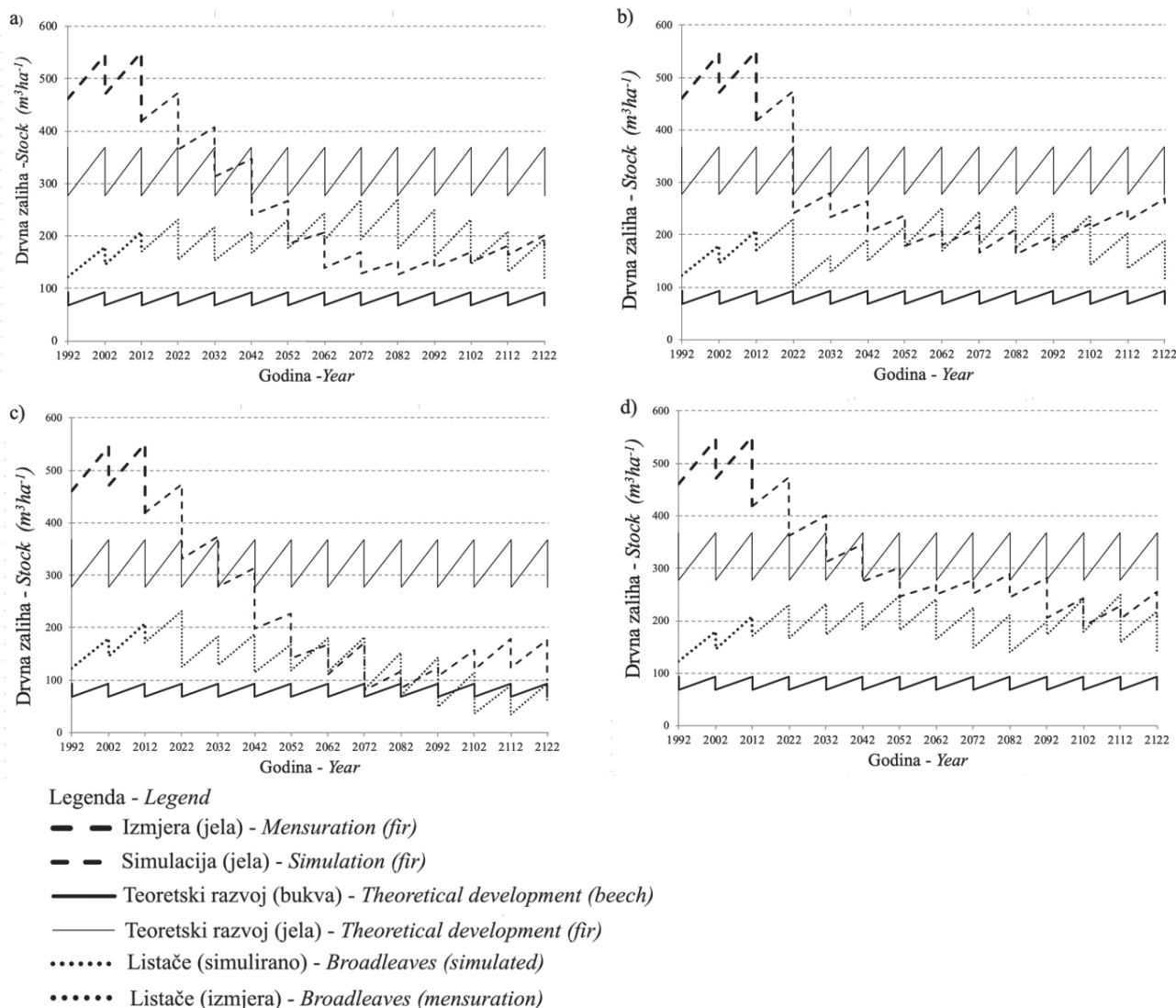
Slika 4. Distribucija prsnih promjera stabala jele po 5-cm debljinskim stupnjevima na početku i na kraju projekcijskog razdoblja prikazano u apsolutnom iznosu (n/ha) i kao postotna promjena u odnosu na stanje na početku projekcije (manji grafikoni gore): a) scenarij 1, b) scenarij 2, c) scenarij 3 i d) scenarij 4.

Figure 4. Diameter distribution of silver fir trees (by 5 cm classes) at the beginning and end of the projection period shown in absolute terms (n/ha) and as a percentage difference between final and initial structure (smaller graphs above): a) scenario 1, b) scenario 2, c) scenario 3 and d) scenario 4.

Osim obilježja strukture na kraju razdoblja projekcije još je važnija dinamika razvoja strukture sastojine tijekom cijelog razdoblja projekcije po vrstama drveća te odnos projicirane zalihe prema teoretskoj (Slika 5). Prvi scenarij postupno smanjuje zalihu jelovine, a bukovinu održava gotovo na istoj razini tijekom cijele projekcije. Drugi scenarij odmah u prvom razdoblju projekcije drastično otvara sastojinu intenzivnom sječom te nakon toga u daljnjim projekcijskim razdobljima sječom prirasta održava uspostavljenu strukturu sastojine. Treći scenarij izrazito smanjuje drvenu zalihu jelovine te ju održava vrlo niskom sve do kraja projekcije, ali na kraju rezultira izrazitom obnovom jele (usporedi Sliku 4 i Sliku 5). Četvrti scenarij slično kao i prvi, ali nešto blaže, smanjuje zalihu jelovine te se pred kraj projekcije nazire ponovno po-

većanje udjela jele u smjesi. Prema scenariju 3 zaliha na kraju projekcijskog razdoblja od 110 godina bila bi manja od teoretske. Izuzev dijelom scenarija 3, uz primjenu svih scenarija udio listača bio bi znatno iznad teoretskog, iako je znatan dio etata tijekom projekcijskog razdoblja usmjeren na sječu prekobrojnih bukovih stabala (Slika 5).

Osim analize razvoja drvene zalihe sastojine primjenom pojedinih scenarija intenziteta sječe, simuliranje potpune strukture sastojine omogućava izračun i analizu brojnih drugih pokazatelja stanja strukture, ali i ostvarenih prihoda tijekom projekcijskog razdoblja. Važne su prosječne vrijednosti pokazatelja za sva četiri scenarija te njihova odstupanja od teoretskog. Vrijednosti prosječnih indeksa odstupanja



Slika 5. Razvoj ukupne drvene zalihe (izmjereni do 2012. te projicirani 2012-2122. godine) uz primjenu pojedinog scenarija gospodarenja u odnosu na teoretski model prema: a) scenariju 1, b) scenariju 2, c) scenariju 3 i d) scenariju 4. (prirasti unutar 10-godišnjih razdoblja prikazani su linearno).
Figure 5. Development of growing stock (recorded until 2012. and projected 2012-2122) by individual management scenario and its relation to the theoretical model according to: a) scenario 1, b) scenario 2, c) scenario 3 and d) scenario 4. (increments within one period are shown linearly).

nja pojedinih kriterija od teoretskog modela (Formula 6) razlikuju se ovisno koji scenarij i koji kriterij pojedinačno ili skupno promatramo (Tablica 4).

Drvena zaliha, slično kao i postotak prirasta sastojine najmanje oscilira uz primjenu scenarija 2, a najviše uz primjenu scenarija 3. Razlike u oscilacijama ostalih kriterija ne ostvaruju tako velike razlike između scenarija. Najveći sječivi prihod ostvario bi se uz primjenu scenarija 3 (oko 1600 m³/ha), ali uz velike oscilacije tijekom projekcijskog razdoblja (Slika 5, Tablica 4). Prema preostala tri scenarija ostvario bi se sličan sječivi prihod (oko 1350 m³/ha) uz najmanje oscilacije po razdobljima uz primjenu scenarija 4 (Tablica 4).

Razlike između dvije skupine vrsta drveća su također značajne. Za listače (običnu bukvu i gorski javor) prosječna

odstupanja su znatno veća u komparaciji s odstupanjem kriterija promatrajući samo običnu jelu. Razlog leži u stalnom povećanju udjela listača u smjesi sastojine, a koju postavljene i odabrane ciljane teoretske modele ne predviđa. Posebno su velika odstupanja u drvenoj zalihi, broju stabala i etatu promatrajući samo listače (Slika 3, Tablica 4).

Analizirajući objedinjeno sve kriterije ocjenjivanja (odvojeno po vrstama drveća ili ukupno) prema osciliranju oko teoretskog modela, kao prosječne pokazatelje stanja strukture sastojine, prirasta, regeneracije i ostvarenih prihoda kao optimalan izdvaja se scenarij 4. Vrlo mu je sličan scenarij 1. Projekcije prema preostala dva scenarija prikazuju moguće ostvarenje većih prihoda, no prema ostalim kriterijima nisu prihvatljivi (Tablica 4).

Tablica 4. Vrednovanje modela gospodarenja (scenarija) usporedbom prosječno (ukupno) ostvarenih iznosa pojedinih pokazatelja gospodarenja tijekom projekcijskog razdoblja i odstupanja od teoretskog modela (I_{DEV}).

Table 4. Evaluation of the management approaches (scenarios) by the comparison of average (total) amounts of indicator variables during the projection period and the deviations from theoretical model (I_{DEV}).

Pokazatelj gospodarenja Indicator variable		Scenarij Scenario							
		1		2		3		4	
		$E=V*0,25$		$E=I_v*(V-V_i)$		$E=I_v+V_{DBH<70cm}$		$E=V_k*(1-\frac{1}{1,0p'}) * \frac{V_k}{V_n}$	
	Prosjek Average	I_{DEV}	Prosjek Average	I_{DEV}	Prosjek Average	I_{DEV}	Prosjek Average	I_{DEV}	
Drvena zaliha Growing stock	[m ³ ha ⁻¹]	480,8	0,169	477,1	0,064	382,8	0,321	535,6	0,161
Broj stabala Number of trees	[n ha ⁻¹]	522	0,160	493,7	0,206	547,2	0,208	522,5	0,159
Promjer srednjeplošnog stabla Quadratic mean DBH	[cm]	27,6	0,102	27,9	0,060	25,1	0,177	28,6	0,066
Udio jele u drvnoj zalihi Volume share of Fir	[%]	49,46	0,378	53,28	0,334	57,3	0,284	56,49	0,294
Volumni prirast Volume Increment	[%]	2,4	0,181	2,5	0,166	3,9	0,548	2,1	0,291
Priljev Recruitment	[n ha ⁻¹ year ⁻¹]	8,42	0,337	8,26	0,367	16,42	0,650	7,96	0,420
Vrijeme prelaska Transition time	[years]	21,4	0,336	20,3	0,268	17,7	0,188	23,1	0,442
Sječivi etat Harvest volume	[m ³ ha ⁻¹ /10 years]	126	0,176	122,8	0,349	145,5	0,277	121,2	0,128
NPV*	[Euro]	25138*	0,302	27699*	0,611	29773*	0,516	23563*	0,218

*Neto sadašnja vrijednost je prikazana u ukupnom iznosu (ne u prosjeku)

RASPRAVA DISCUSSION

Preborno gospodarenje prisutno je u hrvatskom šumarstvu već više od stoljeća (Kern 1909.). Brojni su modeli gospodarenja bukovo-jelovim šumama razvijeni u okviru klasične škole prebornog gospodarenja (Hufnagl 1893, Liocourt 1898, Meyer 1952, Klepac 1961, Shütz 1989.). No, značajnije i ustaljeno preborno gospodarenje u Hrvatskoj nije provedeno sve do nakon Drugog svjetskog rata (Božić 2001, Bončina 2011.). Polovinom prošlog stoljeća značajno je izmijenjen koncept gospodarenja za sastojine koje u svom sastavu imaju običnu jelu te se za njih uvodi preborno gospodarenje prema izmjenjenoj BDq metodi, zasnovanoj na optimalnoj padajućoj distribuciji stabala i određivanju iznosa sječe na temelju realnog volumnog prirasta i korigiranjem obrastom sastojine (Klepac 1961.). Za sva staništa definirana je jedinstvena ophodnjica (razmak između dvije preborne sječe) od 10 godina. U razdoblju uvođenja prebornog gospodarenja dio jelovo-bukovih sastojina obilježavala je gotovo jednodobna čista struktura (Klepac 2001, Božić 2001 Čavlović i dr. 2006). Slično je zabilježeno i u drugim zemljama srednje Europe (Schütz 1975, 1992, Korpel 1982, Bončina i dr. 2002, Bončina 2011.). Na području hrvatskih Dinarida obilježje je to gospodarskih šuma na staništu većih proizvodnih mogućnosti (Božić 2000), a koje odgovora stanju strukture na pokusnoj plohi ovoga istraživanja.

Za određivanje iznosa sječe u prebornoj sastojini optimalne strukture odlučujuću ulogu ima iznos njenog volumnog prirasta. Periodički se siječe cijeli akumulirani prirast ostvaren tijekom perioda raspoređen na stabla različitih promjera padajuće (negativne eksponencijalne) distribucije stabala (Shütz 1989-). Uz strukturu, koja značajno odstupa od preborne, iznos sječe mora biti veći, odnosno manji od prirasta sastojine (Klepac 1961-). Kako bi se razvoj sastojine usmjerio prema prebornoj strukturi prema modelu korištenom u Hrvatskoj (Klepac 1961.) iznos sječe u odnosu na ostvareni volumni prirast nastoji se korigirati pomoću obrasta – kroz omjer izmjerene i optimalne drvene zalihe (vidi Formulu 2). Osnovni problem je što odabrani model nije jednostavno primijeniti u praksi s obzirom da se pri operativnim inventurama i donošenju propisa budućeg gospodarenja u većini sastojina drvena zaliha utvrđuje u različitom trenutku u odnosu na prethodnu preborno sječu. Originalni model predviđa korištenje drvene zalihe neposredno pred sječu u procesu određivanja iznosa (intenziteta) preborne sječe. Drugi problem je potreba za određivanjem postotka prirasta. Postotak prirasta korišten u operativnoj praksi odnosi se na udio volumnog prirasta u drvnoj zalihi utvrđenoj u trenutku izmjere. Kako se volumni prirast određuje posredno iz vremena prelaska metodom izvrtaka, značajno se zadire dublje u povijesnu strukturu sastojine nego što je to 10-godišnje proteklo go-

spodarsko polurazdoblje. Naime pojedinačna vremena prelaska stabala obične jele često su duža i od 40 godina, kao posljedica zagušene strukture sastojine povezano s prethodnom poviješću gospodarenja i spomenutim (ne)primjenjivanim modelima gospodarenja. Predviđeni teoretski model zahtijeva i uspostavu trajnih sjekoreda u šumama kojih se potrebno dosljedno pridržavati. Često puta u praksi sjekoredi nisu uspostavljeni, a poseban problem predstavlja rastavljanje preborne sječe na dvije vremenski odvojene sječe – u jednoj se sijeku listače, a u drugoj četinjače s obzirom na organizacijske i trenutne tržišne okolnosti.

Na temelju navedenog, uz nedosljednu primjenu Klepčevog modela gospodarenja prebornim šumama (Klepac 1961) izračunavani su i primjenjivani intenziteti sječa na razini od oko 15 % ili manje drvene zalihe u sastojini u trenutku sječe. Glavnina posječenog volumena usmjerena je na svega nekoliko pojedinačnih stabla po hektaru površine, što nije bilo dovoljno otvaranje za preživljavanje pomlatka obične jele, ali niti za znatnije promjene u strukturi prema ciljanoj prebornoj višedimenzijskoj i mješovitoj strukturi. Posljedice provedenog modela gospodarenja u prošlosti vidljive su na trenutnoj strukturi jelovo-bukovih šuma. Iako se njima načelno gospodari isključivo preborno više od pola stoljeća (Božić 2001, Klepac 2001, Čavlović 2006.) stanje jelovo-bukovih šuma u Hrvatskoj nije optimalno. Aktualna struktura sastojine na plohi istraživanja obilježena je prevelikom zastupljenosti prezrelih i slabovitalnih stabala obične jele te slabim prirastom i obnovom obične jele (Tablica 3). U Hrvatskoj je to izraženije u bukovo-jelovim i sastojinama obične jele na najproduktivnijem staništu u Gorskom kotaru (Božić 2000.). Izrazit problem dugoročno predstavlja slaba obnova obične jele (Čavlović i dr. 2006.). U pregustim sastojinama gomila se nerazgrađeni humus te se stvaraju suhi uvjeti pri razini tla, što onemogućava razvoj pomladka obične jele (Čavlović 2000.). Obična bukva, od prirode konkurentnija vrsta bolje se nosi s takvim uvjetima te se uspješnije obnavlja, što je u Hrvatskoj uočio već Šafar (1954, 1965.). Iz toga slijedi činjenica je da je obična bukva u posljednjih 30 godina znatno povećala udio u bukovo-jelovim šumama Dinarida (Čavlović 2000, 2006, Poljanec i dr. 2010.). Uspoređujući stanje bukovo-jelovih šuma na drugim područjima Dinarske regije (Bončina 2011.) ono je nedvojbeno vrlo slično, a i drugdje je zapažena slaba regeneracija obične jele (Korpel 1985, Andrzejzyk et al. 1987, Roženbergar et al. 2007.). Prema nekim autorima (Bončina i dr. 2002, 2003, Diaci i dr. 2011.) dio je to prirodnih procesa dinamičnih međuvrskih odnosa, no dijelom uzrok je i napuštanje favoriziranja četinjača koje je bilo prisutno do polovice prošloga stoljeća (Diaci i dr. 2011.). S obzirom da je u scenariju 4 dosljedno primijenjen Klepčev model, on je samo naizgled istovjetan onome primjenjivanom u operativnoj praksi tijekom posljednjih desetljeća. Stoga nije ne očekivano da se spomenuti scenarij pokazao značajno bol-

jim nego što je to modificirani model primijenjivan u praksi (Slika 5, Tablica 4). Preciznije gledano, vrlo je sličan krutom modelu sječe jednake teoretskom prirastu (Scenarij 1), no Klepčev model je povoljniji, jer osim prirasta uključuje i obrast kao „osigurač“ pre naglog otvaranja strukture sastojine (Slika 5, Tablica 4).

Problematika niskih intenziteta sječa prepoznata je početkom ovoga tisućljeća (Čavlović 2000, Čavlović i dr. 2006, Čavlović i dr. 2021b.) te se posljedično interveniralo u regulatorne propise (NN 111/2006) podizanjem maksimalno dozvoljenog intenziteta sječe na 30%, ali se i u operativnoj praksi uslijed različitih okolnosti (povećana potražnja za drvom, tržišno gospodarstvo, uspostava vlastite države) potiču intenzivnije sječe u bukovo-jelovim šumama. Pretpostavka je da bi se intenzivnijim otvaranjem sastojina te pravilnijim raspoređivanjem etata u prostoru i po debljinskim stupnjevima moglo potaknuti prirodnu regeneraciju obične jele (Čavlović i dr. 2006, Čavlović i dr. 2021a.), što je i potvrđeno u istraživanjima Teslak i dr. 2016. Ovakav pristup primjenjuje se u dijelu šuma sada već drugu ophodnjicu te su mnoge sastojine značajnije otvorenog sklopa. Pritom problem predstavljaju slučajni prihodi vezani za elementarne nepogode i šumske štetnike i bolesti (Teslak i dr. 2020, Ugarković i dr. 2018.). Ledolom 2014. godine te propadanje smreke uslijed suše i napad potkornjaka te nekoliko vjetrolova (Ugarković i dr. 2021a, Ugarković i dr. 2021b.) dodatno su poremetile provedbu redovnog, planiranog gospodarenja. Pitanje je koliko je naglo otvaranje sastojina (dva uzastopna intenziteta od 30 %) doprinijelo štetama od ledoloma i vjetrolova jer stabla, posebno tanka i srednjedebela, nisu bila habitusno pripremljena za štetne utjecaje (Teslak i dr. 2020, Klopčić i dr. 2020.).

Model uspostavljen nakon 2000. godine utemeljen na trajnoj primjeni sječe iznosom jednakoj teoretskom volumnom prirastu simuliran je scenarijem 1. Pritom je prilikom planiranja predviđen nešto manje intenzivan prirast (2,5%, a ne 3,0 % godišnje) s obzirom na za prirast otežavajuće klimatske promjene i pojavu niza štetnika i biljnih bolesti. Uz sad već evidentne klimatske promjene, predviđa se znatno smanjenje staništa za običnu jelu na području Hrvatske u budućnosti (Anić i dr. 2009). Velik broj istraživanja usmjeren je na promjene u staništu kojima su šume obične jele izložene u Hrvatskoj (Ugarković i dr. 2021a), ali i u drugim dijelovima areala (Larsen 1986, Ell i Luhmann 1996.). S druge strane često se izostavlja važnost primjenjivanog modela gospodarenja te njegov utjecaj na stabilnost šume i njene mogućnosti prilagodbe promjenama u staništu. Postavlja se pitanje treba li u budućnosti primjenjivati isključivo modele gospodarenja koji slijede (prate) prirodnu dinamiku bukovo-jelovih šuma, kako to predlažu neki autori (Bončina i dr. 2002, 2003, Bončina 2011, Diaci i dr. 2011, Čavlović et al. 2021b.), odnosno možemo li u postojećim okolnostima govoriti o prirodnoj dinamici. Alternativa

može biti postavljanje realnih, okvirnih i dugoročniji modela i nastojati usmjeriti razvoj sastojina prema modelu koji uvažava stanje i dinamiku strukture na razini pojedine sastojine, ali i omogućava dugoročnije planiranje gospodarenja uz usmjeravanje razvoja prema jasno postavljenom cilju na razini šume.

Provedene projekcije razvoja sastojinske strukture uz primjenu više scenarija gospodarenja predstavljenih različitim modelima izračunavanja ukupnog iznosa sječe, korištene su za analizu dugoročnog razvoja bukovo-jelovih šuma. Rezultati projekcije razvoja strukture sastojine primjenom različitih modela određivanja ukupnog iznosa sječe ukazuju na primjenjivost modela utemeljenih na prirastu sastojine bilo teoretskom (Scenarij 1) ili stvarnom (Scenarij 4). U skladu je to s temeljnim postavkama prebornog gospodarenja (Hufnagl 1893, Meyer 1952, Klepac 1961, Schütz 1989.). Naši rezultati dugoročnih projekcija pokazuju da se dugoročno ta dva modela gotovo izjednačavaju s obzirom da je drugi korigiran obrastom, te nakon nekoliko godina uspostavom teoretske strukture stvarni prirast postaje teoretski (optimalan). Jedina, ali važna razlika je u postupnosti i dugoročnoj primjenjivosti modela. Naime scenarij 1 je nešto agresivniji (Slika 5) i u okolnostima izostanka regeneracije u sastojinama može dovesti do gubitka strukture sastojina i pojačane pojave slučajnih prihoda. Pod pretpostavkom da se sječom u iznosu jednakom optimalnom prirastu s vremenom postiže optimalna struktura (O'Hara 2002) projekcije razvoja strukture pokazuju slične rezultate kao i model primjenjivan u prošlosti. Uz takav model nešto bi se brže potaknule pozitivne promjene u strukturi sastojine.

Ekonomska komponenta, odnosno ekonomski rezultat gospodarenja šumom, prikazan je neto sadašnjom vrijednošću kako jednom od osnovnih alata budžetiranja kapitala (Orsag i Dedi 2011.). Ta vrijednost za svaki od scenarija (Tablica 4) predstavlja diskontirano neto vrijednosti između ostvarenog prihoda i troškova, i to u početnoj godini simulacije (2012. god.). Prihodi kao i troškovi pojavljuju se svakih 10 godina, odnosno u vrijeme preborne sječe, a izračunati su pomoću sortimentnih tablica, kalkulacija troškova gospodarenja i cjenika glavnih šumskih proizvoda Hrvatskih šuma d.o.o. Zagreb. Kako bi se spomenute neto vrijednosti mogle sumirati i prikazati u 2012. godini, diskontirane su sa 2% prema Sabadi i dr. 2001 (Tablica 4). U slučaju kada je preborna sastojina u normalni, odnos prihoda i troška (iznos ekonomske dobiti) bit će jednak svake preborne sječe. Međutim, kako niti jedan od ispitanih scenarija ne podrazumijeva gospodarenje normalnom sastojinom, već su svi usmjereni na uspostavu takve željene strukture, iznosi su znatno varirali od one normalne (Tablica 4). Bitno je naglasiti da za razliku od svih ostalih elemenata (npr. temeljnica, drva zaliha) veća ekonomska dobit predstavlja željeni efekt za vlasnika šuma. Međutim, preborna sastojina/šuma koja svojom strukturom zadovoljava normalitet i svake ophod-

njice generira jednaku dobit, polučit će veću dugoročnu ekonomsku dobit od bilo koje druge strukture (čak bolju i od gospodarenja prebornim sastojinama ogromnih drvnih zaliha). Ovo načelo poznato je kao teorem beskonačne rente (Klemperer 1996), ispitano je i u arealu šuma obične jele u Hrvatske (Beljan 2015), te ide u prilog cilju uspostave normalnih prebornih struktura.

Modeli gospodarenja, odnosno određivanja iznosa sječe ne bi trebali biti statični u vremenu, posebice na razini sastojine (Klepac 1961, Čavlović i dr. 2006, Bončina i dr. 2002, Bončina 2011, Diaci i dr. 2011.). U posljednje vrijeme naglasak je stavljen na prednost prilagodljivih, dinamičnih modela gospodarenja (O'Hara i Gersonde 2004, O'Hara i dr. 2007.). Ističu se prednosti raznodobne mješovite strukture preborno gospodarenih bukovo-jelovih šuma, kao prirodni bližeg gospodarenja (Mlinšek 1991.), adaptivnog gospodarenja (Bončina i dr. 2002.), slobodnog stila (Mlinšek 1968.). Kritičari klasične škole odnosno tzv. BDq metode ističu nedostatke postavljanja trajnog teoretskog modela optimalne distribucije broja stabala prebornih šuma (O'Hara 2001.) koji se ne može prilagoditi promjenjivosti u strukturi bukovo-jelovih šuma. Optimalni BDq model odnosi se na uske stanišne uvjete određenog područja te stabilne strukturne odnose u sastojini (Seymour i Kenefic 1998, O'Hara i Gersonde 2004.). S druge strane takav sustav gospodarenja ima i određene prednosti koje se ogledaju u praktičnosti i jednostavnosti. Stalnost u gospodarenju olakšava planiranje radova, ali i prihoda te zahtijeva manje stručnosti i odgovornosti neposrednih provoditelja šumskouzgojnih radova, jer je konačan cilj jasno postavljen. Takav način vrlo je prihvatljiv u okolnostima kad je oko 75% površina šuma u državnom vlasništvu (Hrvatska) ili velikim privatnim šumoposjedima gdje potpuna provedba propisanih šumskouzgojnih radova i dugoročnost gospodarenja nije upitna. Metoda koju nazivaju „slobodan stil“ (*engl. free-style*) (Bončina 2011.) uvažava dinamičnost strukturnih odnosa, ali teško je jasno razlučiti generalni cilj gospodarenja. Planiranje je vrlo okvirno i neizravno. Od provoditelja gospodarenja mora se očekivati izrazita stručnost i odgovornost. Takav model prikladnije je za male privatne šumoposjede gdje je interes vlasnika, iako često kratkoročan, prioritet (Teslak i dr. 2018.).

Tradicija šumarstvu u Hrvatskoj vrlo je duga i povijesno je okrenuta klasičnoj školi šumarstva (Frančišković 1927, Božić 2001, Klepac 2001-). No u daljnjem razvoju šumarske znanosti i struke uvedene su korekcije klasičnih metoda kako bi se izbjegla kruta primjena teško ostvarivih optimalnih ili teoretskih modela. Više od pola stoljeća u hrvatskom šumarstvu deklarirana je metoda koja objedinjava dijelove, odnosno prednosti i klasične i nove metode prebornog gospodarenja. Naime, Klepčeve normale (teoretske modele) moguće je konstruirati za različite stanišne (predstavljene bonitetnom razredom odvojeno za četinjače i listače), sasto-

jinske (različiti omjer smjese vrsta) te gospodarske prilike (ciljana dimenzija zrelosti odvojeno po vrstama drveća). Nažalost nije se dosljedno primjenjivala kako ju je autor postavio, čime su djelom izgubljene njene prednosti (Klepac 1995, Čavlović i dr. 2006, Čavlović i dr. 202b.) i izgubljeno značajno vrijeme. Ovdje je važno napomenuti da se prema teoretskom modelu određuje i planira ukupan iznos sječa, dok se raspodjela po debljinskim razredima i vrstama drveća radi na temelju uvida u strukturu sastojine. Osim toga provoditelji gospodarenja slobodno raspoređuju etat po prostoru sastojine, distribuciji prsnih promjera stabala i vrstama drveća u okviru propisa planiranog za prosječan hektar sastojine. Time je osigurana prikladna prilagodljivost gospodarenja stvarnom prostorno-vremenskom i strukturnom stanju svakog dijela šume. Tijekom posljednjih desetljeća intenzivnije se obnavljaju listače ponajprije obična bukva (Čavlović i dr. 2012.). Postojeće teoretske modele potrebno je stalno preispitivati te prilagoditi trendovima povećanja udjela listača u strukturi sastojine, a što je barem dijelom posljedica izmjena u staništu. S obzirom na strukturu šuma Hrvatske prema vrstama drveća (Čavlović 2010.), potrebno je zadržati običnu jelu sa značajnim udjelom (iznad 50 %) na staništu na kojemu je to moguće. Rezultati projekcija razvoja ukazuju na vrlo dugo vrijeme (i više od 100 godina) da se pokrenu procesi regeneracije i uspostavi preborna struktura (Čavlović i dr. 2021b.). Stoga buduće napore u gospodarenju, tj. određivanju iznosa i provedbi prebornih sječa treba usmjeriti prema poticanju regeneracije obične jele te formiranju strukturnih odnosa u sastojinama koji će to omogućiti. Sve to pod uvjetom da ne dođe do daljnjeg narušavanja obilježja staništa, ponajprije šumskog tla.

Simulacija sječe napravljena je stabilimično u skladu s dosadašnjom praksom. Slično se predlaže za cijelo dinarsko područje (Bončina 2011.). Za bukovo-jelove šume na kvalitetnijem staništu Hrvatskoj stabilimična sječa nije najbolja opcija. U analiziranim simulacijama gospodarenja obilježenog stabilimičnom sječom, regeneracija obične jele bila je nedovoljna, a što je u skladu s iskustvima iz dosadašnjeg realnog gospodarenja. Grupimično otvaranje sastojina i formiranje grupimične strukture te iskorištavanje prednosti takvog oblika gospodarenja (O'Hara i dr. 2007.) čini se optimalnim te bi dugoročno omogućilo bolju obnovu obične jele. Samo za šume na najtežem staništu (izraziti nagib i kamenitost) stabilimična sječa ima prednost. U tom kontekstu ne treba izostaviti ni mogućnost raznodobnog načina gospodarenja u okviru privatnih šuma kao ni jednodobno gospodarenje bukovo-jelovim šumama u najboljim stanišnim uvjetima (silikatna geološka podloga). Naravno to uključuje sastojine malih površina te duga pomladna razdoblja (40 godina) te oplodne sječe s više od 5 sjekova. Također mogla bi se preispitati održivost i potreba jedinstvene ophodnjice (10 godina) za sve stanišne i gospodarske uvjete. Jasno uz ophodnjicu je vezan intenzitet

gospodarenja – što je ona kraća gospodarenje je intenzivnije, a na panju u šumi iste površine veća je drvena zaliha.

U okolnostima izmijenjenih stanišnih okolnosti ko npr. klimatskih promjena i emisije štetnih tvari te posljedično sve manjoj vitalnosti postojećih stabala obične jele, formiranje stabilnih prebornih jelovih šuma nove generacije bit će još zahtjevnije. Primjenom opisanog modela gospodarenja koji je propisan moguće je objediniti prednosti klasične škole i suvremenog adaptivnog pristupa gospodarenju. S obzirom da slični problemi s regeneracijom obične jele i nastavno problemima u gospodarenju postoje na mnogim područjima u Europi (Larsen 1986, Ell i Luhmann 1996, Bončina i dr. 2003, Korpel 1985.) slični modeli mogu se primijeniti i izvan Hrvatske. U tom smjeru planira se nastaviti istraživanja simulacijom razvoja virtualno generiranih struktura kao optimalnih predstavnika prebornih šuma različitih vlasnika (povijesti gospodarenja) i stanišnih obilježja.

ZAKLJUČAK CONCLUSION

U radu je istražena primijenjivost različitih modela prebornog gospodarenja predstavljenih načinom određivanja intenziteta preborne sječe. Kao optimalni izdvojili su se modeli utemeljeni na volumnom prirastu. Postojeći model gospodarenja utemeljen na realnom prirastu uz korekciju obrastom dugoročno je prihvatljiv, no nije najjednostavniji za primjenu u praksi. Iznimno je važno uspostaviti sjekorede u prebornoj šumi i striktno ih provoditi. Kod izračuna intenziteta sječa po sastojinama potrebno je zalihi projicirati u stanje neposredno prije sječe za svaku sastojinu i tako računati obrast po drvnj zalihi kao faktor korekcije odnosa prirast-etat. Što preciznije određivanje prirasta sastojine je ključno, a što nije jednostavno u mješovitim sastojinama. Iznimno je važno dosljedno primjenjivati propisani model do namanjeg detalja, pa i određivanja postotka prirasta s obzirom da je kao i svaki postotak iznimno podložan svojoj bazi.

Postojeći model uključuje mogućnost izrade prilagodljivih teoretskih modela, a provoditeljima gospodarenja omogućava veliku slobodu kroz raspodjelu etata po debljinskim razredima i vrstama drveća te određeno odstupanje od propisanog etata na razini vrste drveća. Prilagodljivost modela gospodarenja posebno je važno u okolnostima značajnih i ubrzanih izmjena u staništu. U tom kontekstu zaseban problem predstavlja narušavanje planiranog gospodarenja uslijed enormne pojave slučajnih prihoda uslijed elementarnih i drugih nepogoda.

Rezultati ukazuju da je vrlo teško iznaći dugoročno primijeniv univerzalni model. Godinama primijenjivani niski intenziteti sječa (do 15 %) formirali su specifičnu strukturu koju prenapro otvaranje (dva ili i više uzastopna intenziteta

od 30 %) uz dodatne slučajne prihode i izostanak regeneracije obične jele te nisku dinamiku prirašćivanja može dodatno ugroziti. Otežana obnova, posebno obične jele, te neplansko narušavanje strukture sastojine izazovi su budućeg gospodarenja bukovo-jelovim šumama u Hrvatskoj, ali i šire.

ZAHVALA ACKNOWLEDGEMENTS

Istraživanje i objavu ovoga rada pomogle su „Hrvatske šume“ d.o.o. Zagreb, a financirala Hrvatska zaklada za znanost (projekt IP-2018-01-8820). Hrvatskom šumarskom institutu, Jastrebarsko, zahvalni smo za podatke prve terenske izmjere, a recenzentima na dobronamjernim i korisnim primjedbama.

LITERATURA REFERENCES

- Anić, I., S. Mikac, 2008: Struktura, tekstura i pomlađivanje dinarske bukovo-jelove prašume Čorkova uvala, Šumar list 132 (11-12): 505.-515.
- Anić I, J. Vukelić, S. Mikac, D. Bakšić, D. Ugarković, 2009: Utjecaj globalnih klimatskih promjena na ekološku nišu obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, Šumar list 133 (3-4): 135.-144.
- Anon 2011: Program gospodarenja za GJ „Delnice“ 2011-2020, Hrvatske šume d.o.o., Delnice.
- Beljan, K., 2015: Ekonomska analiza gospodarenja šumama obične jele (*Abies alba* Mill.) jednodobne strukture, Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Bončina, A., 1994: Prebiralni dinarskigozd jelke in bukve, Odelek za gozdarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, 90 str., Ljubljana
- Bončina, A., J. Diaci, L. Cenčić, 2002: Comparison of the two main types of selection forests in Slovenia: distribution, site conditions, stand structure, regeneration and management, Forestry 75 (4): 365.-373.
- Bončina, A., F. Gašperšič, J. Diaci, 2003: Long-term changes in tree species composition in the Dinaric mountain forests of Slovenia, Forest Chronicle 79(2): 227.-232.
- Bončina, A., 2011: History, current status and future prospects of uneven-aged forest management in the Dinaric region: an overview, A int Jour of For Res, 84 (5):467.-478.
- Božić, M., 2000: Kolika je stvarna zaliha jele u našim šumama?, Šumar list 124 (3-4): 185.-195.
- Božić, M., 2001: Management models applied to fir forests in Gorski kotar, Glasnik šum pokuse 38: 89-135.
- Čavlović, J., T. Marović, 1997: Odnos prirašćivanja stabala jele na NPŠO „Sljeme“, Šumar list 121(9-10):473.-478.
- Čavlović, J., 2000: Novi program gospodarenja za G.J. Belevine (2000-2009)- zaustavljanje negativnih trendova i iniciranje povoljnih procesa u ‘razvoju’ preborne šume, Šumar list 124 (7-8): 450.-457.
- Čavlović, J., M. Božić, A. Bončina 2006: Stand structure of an uneven-aged fir-beech forest with an irregular diameter structure: modeling the development of the Belevine forest, Croatia, Eur J Forest Res ,125: 325.-333.
- Čavlović, J., 2010: Prva nacionalna inventura šuma Republike Hrvatske, Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnog gospodarstva, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 300 str., Zagreb
- Čavlović, J., O. Antonić, M. Božić, K. Teslak, 2012: Long-term and country scale projection of even-aged forest management: a case study for *Fagus sylvatica* in Croatia, Scand in Journ for res. 27 (1): 36.-45.
- Čavlović, J., A. Bončina, M. Božić, E. Goršić, T. Simončić, K. Teslak 2015: Depression and growth recovery of silver fir in uneven-aged Dinaric forests in Croatia from 1901 to 2001, Forestry, 88(5):586.-598.
- Čavlović, J., M. Andabaka, M. Božić, K. Teslak, K. Beljan, 2021a: Current Status and Recent Stand Structure Dynamics in Mixed Silver Fir—European Beech Forests in Croatian Dinarides: Are There Differences between Managed and Unmanaged Forests?, Sustainab, 13: 1.-20.
- Čavlović, J., K. Teslak, K. Beljan, M. Vedriš, M. Andabaka, 2021b: Long-term dynamics of stand structure and regeneration in high-stocked selection fir-beech forest stand: Croatian Dinarides case study, iForest, 14 (4): 383.-392.
- Diaci, J., 2006: Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, nacrtovanje, izabrana poglavlja. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 348 str., Ljubljana
- Diaci, J., D. Rožnberger, I. Anić, S. Mikac, M. Saniga, S. Kucbel, C. Višnjić, D. Ballian 2011: Structural dynamics and synchronous silver fir decline in mixed old-growth mountain forests in Eastern and Southeastern Europe, Forestry, 84 (5): 479.-491.
- Ell, R., H.J., Luhmann, 1996: Von den Schwierigkeiten der Entdeckung des Waldsterbens in Deutschland. Man sieht nur, was versteht oder Schäden ohne Ursache und Ursachen ohne Schäden, Forstarchiv 67: 103.-107.
- Ficko, A., A. Poljanec, A. Bončina 2011: Do changes in spatial distribution, structure and abundance of silver fir (*Abies alba* Mill.) indicate its decline? Forest Ecol Manag 261(4): 844.-854.
- Frančišković, S., 1927: Šume i šumarstvo vlastelinstva Thurn Taxis u zapadnoj Hrvatskoj. Šumar list, 51 (9): 409.-420.
- Hasenauer, H., G. Kindermann, P. Steinmetz, 2006: The tree growth model MOSES 3.0., Sustainable forest management growth models for Europe, Springer, 64.-70. str. Berlin
- Hufnagl, L., 1893: Der Plenterwald, sein Normalbild, Holzvorrat, Zuwachs und Ertrag, Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen, 117.-132.
- Jelaska, S., 2005: A contribution to classification of dinaric fir-beech forests at fourth level of Croatian national habitat classification. Drypis, (1): 1.-3.
- Kern, A., 1898: Uredjenje prebornih šumah, Šumar list, 22 (8-9): 300.-326.
- Kern, A., 1909: Preračunavanje drvene zalihe i prirasta u prebornim šumama), Šumar list, 33:142.-151.
- Klemperer, D.W., 1996: Forest Resource Economics and Finance, Columbus, McGraw-Hill, 551 str., New York
- Klepac, D., 1961: Novi sistem uređivanja prebornih šuma, Poljoprivredno šumarska komora NR Hrvatske. Sekcija za šumarstvo, Zagreb
- Klepac, D., 1995: Dinamika kretanja drvene zalihe na panju u šumama Gorskog kotara tijekom 40 godina (1950-1990), Šumar list, 119 (3-4): 85.-90.

- Klepac, D., 2001: Razvoj gospodarenjau jelovim šumama, Obična jela u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., 25.-92., Zagreb
- Klopčič, M., A. Poljanec, M. Dolinar, D. Kastelec, A. Bončina, 2020: Ice-storm damage to trees in mixed Central European forests: damage patterns, predictors and susceptibility of tree species, *Forestry, Int J of For Research*, 93 (3): 430.-443.
- Korpel, S., 1982: Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest: an example of natural forests of Slovakia, *Acta Facult For Zvolen*, 24: 9.-31.
- Korpel, S., 1985: Stav a vyvoj jedle na Slovensku vo vzťahu k jej odumieraniu. *Acta Fac For*, 27: 79.-102.
- Larsen, J.B., 1986: Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser Rätselhaften Komplexkrankheit der Weisstanne (*A. alba* Mill.), *Forstwiss Centralbl*, 105(5): 381.-396.
- Linares, J.C., J.J. Camarero, 2012: Growth patterns and sensitivity to climate predict silver fir decline in the Spanish Pyrenees, *Eur J Forest Res*, 131: 1001.-1012.
- Liocourt, de F., 1898: De l' a management des sapinieres. *Bulletin de la Societe forestiere de Franche, Comte et des Provinces de l'Est*, 4: 396.-409.
- Meyer, H.A., 1952: Structure, growth, and drain inbalanced uneven-aged forests, *Forest* 50:85-92.
- Matić, S., I. Anić, M. Oršanić, 2006: Aktualni problemi gospodarenja običnom jelom (*Abies alba* Mill.) u Republici Hrvatskoj, *Glasnik za šumske pokuse*, pos. izd. (5): 7-27.
- Mikac, S., M. Klopčič, I. Anić, H. Hasenauer, 2013: Using the tree growth model MOSES to assess the dynamics of Dinaric old-growth mixed beech–fir forest ecosystems, *Plant Biosystems*, 147(3): 664.-671.
- Mlinšek, D., 1968: Sproščena tehnika gojenja gozdov, PZGGO, 117 str., Ljubljana
- Mlinšek, D., 1991: Die naturnahe Waldwirtschaft – ein Gebot und eine Herausforderung zugleich. *Dauerwald* 4: 2.-11.
- MP (Ministarstvo poljoprivrede) 2016: Šumskogospodarska osnova 2016.-2025. (dostupno na linku: <https://poljoprivreda.gov.hr/istaknute-teme/sume-112/sumarstvo/sumskogospodarska-osnova-2016-2025/250>, pristupljeno dana 24. 10. 2022.)
- Nagel, T., D. Firm, D. Roženberger, M. Kopal, 2016: Patterns and drivers of ice storm damage in temperate forests of Central Europe, *Europ. J. For. Res.*, 135(3): 519.-530.
- NN 111/2006: Pravilnik o uređivanju šuma iz 2006. godine
- NN 97/2018: Pravilnik o uređivanju šuma iz 2018. godine
- O'Hara, K.L., 2001: The silviculture of transformation – a commentary, *For Ecol Manag*, 151 (1-3): 81.-86.
- O'Hara, K.L., 2002: The historical development of uneven-aged silviculture in North America, *Forestry* 75(4): 339.-346.
- O'Hara, K.L., R.F. Gersonde, 2004: Stocking control concepts in uneven-aged silviculture, *Forestry* 77(2): 131.-143.
- O'Hara, K.L., H. Hasenauer, G. Kindermann, 2007: Sustainability in multi-aged stands: an analysis of long-term plenter systems, *Forestry* 80 (2): 163.-178.
- Orsag, S., L. Dedi, 2011: Budžetiranje kapitala-Procjena investicijskih projekata, *Masmedia*, 416 str. Zagreb
- Poljanec, A., A. Ficko, A. Bončina, 2010: Spatiotemporal dynamic of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Slovenia, 1970-2005, *For Ecol Manag* 259 (11): 2183.-2190.
- Pranjić, A., 1966. Interpolirane Šurićeve jednoulazne tablice za jelu – smreku i bukvu, *Šumar list*, 90 (3-4): 185.-212.
- Roženberger, D., S. Mikac, I. Anić, J. Diaci, 2007: Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech–fir forest reserves in South East Europe, *Forestry*, 80 (4): 432.-443.
- Sabadi, R., B. Prpić, H. Jakovac, 2001: Ukupna vrijednost jelovih šuma u Hrvatskoj, Obična jela u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., 792.-812., Zagreb
- Schütz, J.-P., 1975: Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardines sur les stations de la hêtraie à sapin, *Schweiz Z Forstwes* 126:637.-671.
- Schütz, J.-P., 1989: Der Plenterbetrieb. Fachbereich Waldbau, ETH, 54 str., Zürich
- Schütz, J.-P., 1992: Die waldbaulichen Formen und die Grenzen der Planterug mit Laubbaumarten. *Schweiz Z Forstws* 143: 637.-671.
- Seymour, R.S., L.S. Kenefic, 1998: Balance and sustainability in multi-aged stands: a northern conifer case study, *J Forest* 96(7): 12.-17.
- Šafar, J., 1954: Problem njege mladog naraštaja u prebornim šumama, *Šumar list* 78 (11-12): 561.-570.
- Šafar, J., 1965: Pojava proširivanja bukve na Dinaridima Hrvatske, *Šumar list* 89 (5-6): 198.-217.
- Špiranec, M., 1975: Drvnogromadne tablice za hrast, bukvu, obični grab i pitomi kesten, *Radovi šum instituta*, 22: 1.-262.
- Špiranec, M., 1976: Tablice drvnih masa jela i smreke, *Radovi šum instituta*, 29: 1.-119.
- Teslak, K., M. Vedriš, M. Gašparović, M. Žunić, J. Čavlović, 2016: Stand Regeneration Characteristics of Beech and Fir Forests in Gorski Kotar Region. *SEEFOR* 7 (2): 99.-108.
- Teslak, K., M. Žunić, K. Beljan, J. Čavlović, 2018: Stanje i izazovi gospodarenja privatnim šumama u Hrvatskoj u postojećim ekološkim i sociološkim okolnostima. *Šumar list*, 142 (9-10): 459.-471.
- Teslak, K., K. Beljan, M. Vedriš, M. Žunić, M. Komarčević, J. Čavlović, 2020: Štetni utjecaj ledoloma na stanje i strukturu šuma Gorskog kotara, *Zbornik radova sa znanstvenog skupa „Gospodarenje šumama u uvjetima klimatskih promjena i prirodnih nepogoda“*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, str 77.-101., Zagreb
- Thurnher, C., M. Klopčič, H. Hasenauer, 2017: MOSES – A tree growth simulator for modelling stand response in Central Europe, *Ecol Modell*, 352 (24): 58.-76.
- Ugarković, D.; Tikvić, I.; Seletković, Z., 2011, Correlation of Habitat and Structural Factors with Dieback and Nutrition of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) in Gorski Kotar, *CROJFE*, 32, Issue 1: 57-71.
- Ugarković, D., I. Tikvić, K. Popić, J. Malnar, I. Stankić, 2018: Microclimate and natural regeneration of forests gaps as a consequence of silver fir (*Abies alba* Mill.) dieback, *Šumar list*, 142 (5-6): 235.-245.
- Ugarković, D., I. Seletković, I. Tikvić, M. Ognjenović, K. Popić, M. Orešković, N. Potočić, 2021a: Povezanost mortaliteta obične jela (*Abies alba* Mill.) na području Fužina s klimatskim i strukturnim parametrima, *Šumar list*, 145 (7-8): 311.-321.
- Ugarković, D.; Jazbec, A.; Seletković, I.; Tikvić, I.; Paulić, V.; Ognjenović, M.; Marušić, M.; Potočić, N.; 2021b: Silver Fir Decline in Pure and Mixed Stands at Western Edge of Spread in Croatian Dinarides Depends on Some Stand Structure and Climate Factors. *Sustainability*, 13 (11):1-15.

SUMMARY

Uneven-aged beech-fir forests cover approximately 157 000 hectares in Republic of Croatia. During the history they have been managed according to different management systems, varying from even-aged to selection management. As a result of historical integration of Croatian forestry into the German forestry school, alongside with unique ecological characteristics of Dinaric area, selection management system has been practiced in Croatia's forestry ever since. Today, due to various reasons majority of beech-fir forests in Croatia have transitional structure between even-aged and selection structure. It is characterized by large growing stock, small increment, low vitality, poor fir regeneration and increasing share of beech. Example of such case is permanent experimental plot situated in Croatia's north Dinaric area and managed by "Croatian forests" Ltd., which is a subject of this research. The aim of this research is to explore different annual cut models which will in future direct forest into stabile and optimal growth rate in selection structure with adequate volume share of fir. Input data have been acquired from successive measurements on permanent experimental plot in beech-fir stand. Tree growth simulator MOSES version 3.0 was tested for applicability in local conditions and has been used for projecting future stand's growth. Four scenarios based on different cutting models have been used to simulate possible types of future management emphasizing fir natural regeneration, establishment and maintenance of selection structure with targeted volume share of fir versus beech, and also supporting valuable broad-leaved species. All scenarios represent fir volume reduction followed by aggressive beech regeneration and partially accomplishment of selection structure in long-term. Thus, obtained different future stand structures were compared and ranked based on stand attributes and economic indicators. Annual cut based on decennial volume increment and stocking has been found best scenario from aspects of ecological, management and economic sustainability.

KEY WORDS: beech-fir forests, growing stock, cut assessment, management model, MOSES tree growth model