

D. Ballian, 2005: Značaj procjene genetičkog opterećenja u sastojinama obične jele...  
Rad. Šumar. inst. 40 (2): 151–161, Jastrebarsko

Izvorni znanstveni članak  
*Original scientific paper*

Prispjelo - *Received*: 25. 07. 2005.  
Prihvaćeno - *Accepted*: 16. 05. 2006.

UDK: 630\*165.42

**Dalibor Ballian\***

## ZNAČAJ PROCJENE GENETIČKOG OPTEREĆENJA U SASTOJINAMA OBIČNE JELE (*Abies alba* Mill.) NA TEMELJU FIKSACIJSKOG INDEKSA I NJEGOVA PRIMJENA

IMPORTANCE OF EVALUATION OF GENETIC LOADING  
IN STANDS OF SILVER FIR (*Abies alba* Mill.) ON THE BASIS  
OF FIXATION INDEX AND ITS APPLICATION

### SAŽETAK

U radu se prikazuju rezultati dobiveni tijekom molekularno-genetičkih istraživanja obične jele, uporabom izoenzimskih biljega. Glavna pažnja usmjerena je na fiksacijski indeks ili Wrightov koeficijent inbridinga. Rezultati istraživanja prikazani su za 10 populacija obične jele iz Bosne i Hercegovine te Hrvatske. Dobiveni rezultati uspoređivani su s dostupnim rezultatima iz drugih istraživanja koja su obavljena na drugim šumskim vrstama. Veličina srednjeg fiksacijskog indeksa u istraživanim populacijama ovog istraživanja, pokazala je postojanje inbridinga u osam od deset istraživanih populacija. Veličina fiksacijskog indeksa za pojedine gen-lokuse razlikuje se od populacije do populacije.

Dobivene veličine fiksacijskog indeksa, bilo da se odnose na cijelu populaciju ili pojedini gen-lokus, dobar su pokazatelj kakve uzgojno-gospodarske mjere treba obavljati u populacijama i u kojem pravcu treba usmjeriti aktivnosti na obnovi, a što izravno ovisi o dobivenim veličinama fiksacijskog indeksa.

**Ključne riječi:** *Abies alba* Mill., obična jela, fiksacijski indeks

### UVOD

#### INTRODUCTION

Svakodnevno smo svjedoci kako u šumama izostaje uspješna prirodna obnova, bez obzira na metodu prirodne obnove, iako su se kvalitetno obavile sve po-

\* Šumarski fakultet u Sarajevu, Zagrebačka 20, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

trebne šumsko-gospodarske mjere. Često za praktičare i uzgajivače ovaj problem ostaje nerješiv te se pripisuje nekim drugim čimbenicima, kao što su klima i tlo, a vrlo često i nekim ljudskim aktivnostima. Ipak, često problem leži u samoj genetičkoj konstituciji šumskog drveća, odnosno u njegovim osnovnim reproduktivnim odnosima u populaciji, a prije svega u efektivnoj veličini populacije, odnosno njenom reproduktivno sposobnom dijelu. Tu prije svega mislimo na samu genetičku strukturu populacije koja predstavlja i objekt istraživanja. Ranija istraživanja genetičkog opterećenja bila su dugotrajna, kroz serije terenskih testiranja, kao i analize sjemena. Danas, na znanstveno priznat način, postoji mogućnost vrlo brze procjene genetičkog opterećenja; preko dobivenih veličina fiksacijskog indeksa.

U šumskim populacijama, bez obzira kako velike bile, postoji genetički drift, a samim tim i inbriding koji se obično javlja u malim izoliranim sastojinama, ali može biti značajno prisutan i u velikim sastojinama šumskog drveća, što je posljedica različite fenologije, utjecaja mikrostaništa ili na neki drugi način usmjerenih oplodnji. Tako je inbriding posebno značajan i stalno prisutan kod pionirskih vrsta šumskog drveća, kao što su breze, jasike ili borovi. Tako je teorijski i empirijski potvrđeno kako genetički drift, odnosno pojava inbridinga, ima svoje najjače efekte u malim ili izoliranim populacijama. U takvim populacijama, prema HADŽISELIMOVIĆU (2005), dovoljno je da se iz reproduktivnog ciklusa isključi samo nekoliko individua i da se pojave vidljive posljedice u genetičkoj strukturi. Tako u velikim populacijama postoje ograničenja koja dovode do križanja individua iz samo uskog kruga, zbog mogućih razlika u fenologiji cvjetanja između individua. Stoga HADŽISELIMOVIĆ (2005) zaključuje kako su genetički učinci drifta obrnuto razmjerni veličini populacije, a upravo razmjerni relativnom odnosu između apsolutne i efektivne veličine populacije.

Inbriding predstavlja križanje u srodstvu, odnosno samooplodnju kod allogamnih biljaka ili križanja u najužem srodstvu. Naročito je značajan ako se javlja kroz više generacija, u populaciji koja se sastoji od malog broja individua.

Sama pojava genetičkog drifta u populaciji, također je izravno povezana i s pojavom inbridinga i samooplodnje, te malom veličinom populacije, odnosno neoptimalnom gustoćom i rasporedom vrsta u šumi, kao i problemom u disperziji polena ili sjemena. Prema DUCCIU (1991), ljudske su aktivnosti u posljednjih 2000 godina izravno pogađale mnoge populacije, a to se posebno odrazilo na gubitak heterozigotnih individue te pojavu genetičkog drifta i inbridinga. Pojava pomlatka u takvom slučaju, s reprodukcijom u srodstvu, povećavala je pojavljivanje genetičke depresije. To se vrlo često odražava na fenotipskom izgledu individua, kroz pojavu depresije, uz smanjenje heterogenosti populacije, s trajnim posljedicama na potomstvo. Pojava samooplodnje, odnosno inbridinga, za posljedicu ima povećanje učestalosti praznog sjemena (šturog) te opću slabost i depresivnost prirodnog pomlatka.

Postojanje inbridinga u populacijama predstavljeno je statističkom veličinom koja se naziva fiksacijski indeks ili Wrightov koeficijent inbridinga. Fiksacijski indeks predstavlja odnos razlike koja se dobije između teorijske i dobivene (stvarne) heterozigotnosti naspram teorijskoj heterozigotnosti. Ta veličina, u ovisnosti o

predznaku (+/-) svoje vrijednosti, može pokazati postojanje inbridinga, odnosno odstupanje od genetičke ravnoteže. Ako su veličine negativne, u populaciji je prisutna velika heterozigotnost, veća od one predviđene genetičkom ravnotežom, odnosno odsutnost inbridinga. Za nultu i njoj bliske veličine svojstveno je pokazivanje prisutnosti genetičke ravnoteže, kao i odsutnost inbridinga. Pozitivne vrijednosti fiksacijskog indeksa upućuju na prisutnost inbridinga u istraživanim populacijama (BERGMANN i dr. 1990), odnosno pojavu homozigotnosti u populaciji, a koja se u ovom slučaju pokazuje superiornijom od one koja je predviđena genetičkom ravnotežom. Tako fiksacijski indeks označava mjeru odstupanja promatrane heterozigotnosti od očekivane, prema zakonu Hardy Weinbergove ravnoteže (MORGENSTERN 1996).

Osnovni cilj ovog rada je da na primjeru obične jele prikaže moguću uporabu veličine fiksacijskog indeksa te mogućnost definiranja budućih uzgojno-gospodarskih radova na prirodnoj obnovi sastojinama, naših ekonomski značajnih vrsta šumskog drveća.

## MATERIJA I METODA RADA

### MATERIALS AND METHODS

Tijekom studenoga 2000. godine selekcionirana su stabla obične jele na području Hrvatske te u Bosni i Hercegovini, (Tablica 1.). Pri odabiru populacija vodilo se računa da se odaberu podjednako velike i sa znanstvenog stajališta zanimljive velike i male populacije. Također se vodilo računa i o tome da populacije budu iz kontrastnih ekoloških uvjeta i, po mogućnosti, pripadaju različitim fitocenoza i geološkim podlogama.

Pri sabiranju uzoraka za izoenzimska istraživanja vodilo se računa da udaljenost između stabala bude najmanje 50m, kako bi se što je moguće više smanjila

Tablica 1. Istraživane populacije obične jele u Bosni i Hercegovini te Hrvatskoj  
*Table 1. Investigation in a Silver fir population in Bosnia and Herzegovina*

Populacija	Zemljopisna širina	Zemljopisna dužina	Broj uspješnih izoenzimska analiza
Meka brda (Kalinovik)	18°35'	43°29'	72
Vranica (Fojnica)	17°54'	43°56'	100
Crni vrh (Tešanj)	18°00'	44°34'	41
Orjen (Trebinje)	18°33'	42°38'	49
Čabulja (Posušje)	17°35'	43°32'	48
Gerovo GJ "Lividraga"	14°36'	45°18'	44
Biokovo (Makarska)	17°08'	43°08'	49
Vrbovsko GJ "Miletka"	15°03'	45°24'	46
Skrad GJ "Jasle"	14°53'	45°26'	50
Fužine GJ "Brloško"	14°41'	45°18'	43
<b>Ukupno</b>			539

Tablica 2. Enzimski sustavi, E.C. referentni broj, broj lokusa i broj alela  
*Table 2. Enzymic systems, E.C. reference No., locus No. and allele No.*

Enzimski sustavi	E.C. broj	Genlokus	Broj alela
Phosphoglucoseisomerase	5.3.1.9	Pgi –A, –B	2,3,
Phosphoglucomutase	2.7.5.1	Pgm –A, –B	2,3,
Isocitrat dehidrogenase	1.1.1.42	Idh –B,	2,
Menadionreductase	1.6.99.2	Mnr –B,	2,
Shikimatadehidrogenase	1.1.1.25	Sdh –A,	3,
Leucinaminopeptidase	3.4.11.1	Lap –A, –B	3,4,
Fluorescent esterase	3.1.1.1	Fest –A, –B	2,1,
Glutamatoxalacetattransaminase	2.6.1.1	Got –A, –B, –C	3,3,3,
6-phosphoglucomatedehydrogenase	1.1.1.44	6-Pgdh –A, –B	3,3,
Ukupno	9	16	42

moguća srodnost među stablima te što bolje prezentirala genetička struktura sastojine.

Istraživalo se 9 enzimskih sustava s ukupno 16 gen-lokusa, odnosno 42 alela. Postupci maceracije, pripreve gela, elektroforeze i bojenja gela bili su prilagođeni primijenjenim enzimskim sustavima (WENDEL i WEEDEN 1989; KONNERT 1995; HÜSENDORFER i dr. 1995).

Nakon elektroforeze i bojenja gela obavljena je analiza zimograma i identificirali se aleli za svaki gen-lokus, prema protokolu koji je dala KONNERT (1995). Za identifikaciju se rabi ustaljena nomenklatura pa brojke 11, 22, 33, 44 označavaju homozigote, a 12, 13, 14, 23, 24, 34 heterozigote.

Osnovni rezultati i dio podataka objavljeni su u radovima BALLIANA (2003) i BALLIAN i KAJBA (2003). Tako je na temelju dobivenih rezultata izračunat fiksacijski indeks, uz primjenu jednadžbe:

$$F_{is} = (H_e - H_o) / H_e$$

gdje je:

$F_{is}$  – fiksacijski indeks

$H_e$  – teorijska (očekivana) heterozigotnost

$H_o$  – dobivena (stvarna) heterozigotnost

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### INVESTIGATION RESULTS

Dobiveni rezultati u istraživanju pokazali su kako gen-lokusi imaju različite veličine fiksacijskog indeksa. Ako analiziramo Tablicu 3., prazne rubrike ukazuju kako za te gen-lokuse imamo pojavu monomorfizma te u tom slučaju nemamo nikakvu vrijednost fiksacijskog indeksa. Pored toga, iz dobivenih je rezultata vidljivo kako u populacijama imamo pozitivne i negativne vrijednosti fiksacijskog indeksa za pojedine gen-lokuse, odnosno svaki se gen-lokus ponaša neovisno o dru-

Tablica 3. Veličine fiksacijskog indeksa za lokuse i srednja veličina za populaciju  
 Table 3. Values of fixation index for loci and mean value for population

Lokus/alel	Populacije									
	Čabulja	Vranica	Meka brda	Orjen	Crni vrh	Biokovo	Fužine	Gerovo	Skrad	Vrbovsko
Pgi –A	-0,0221	0,2442	-0,0146	-0,0099	-0,0252	0,1207	-	-	-	-
Pgi –B	-	-0,0101	-	-0,0200	-	-	-	-	-	-
Pgm –A	-	-	-0,0072	-	-	-	-	-	-	-
Pgm –B	-0,0910	-0,0870	-0,0910	0,1835	-0,0545	-0,0303	-0,0453	-0,0357	-0,0562	-0,0683
Idh –B	-0,0549	-0,0133	0,1341	0,0614	0,0476	-0,0983	-0,1390	-0,0670	-0,2157	0,1047
Mnr –B	-0,0426	0,4687	0,6828	-	1,0000	0,3885	-0,0246	-0,0152	-	-0,0273
Sdh –A	-0,0672	-0,0417	-0,0171	-0,0097	-0,0124	-	-	-	-	-
Lap –A	0,0771	0,0706	-0,0508	0,3885	-0,3791	0,2313	-0,0531	0,4866	-0,1106	-0,0569
Lap –B	0,0366	0,1172	0,2439	0,0749	0,2647	-0,1110	-0,0094	-0,2911	-0,1417	-0,0028
Fest –A	-	-	-	-	-	-	-0,0169	-0,0189	-0,0177	-0,0119
Fest –B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Got –A	-0,0672	0,1892	-0,0776	-0,1304	0,4786	-0,0200	-	-	-	-
Got –B	-	0,0000	-0,0072	-0,0099	-0,0121	-	-0,0126	-	-0,0510	-0,0388
Got –C	-0,1059	-0,0638	0,1062	0,2576	-0,1602	-0,0769	-0,1073	-0,1589	-0,3041	0,0475
6Pgdh–A	-0,1195	-0,0387	0,0570	-0,1284	0,1664	0,2878	0,3000	0,2051	0,3555	0,2238
6Pgdh–B	-0,0097	-0,0246	-0,0168	0,0759	-0,0246	0,4829	0,2406	0,3259	0,1478	0,2211
<b>sredina</b>	<b>-0,0424</b>	<b>0,0624</b>	<b>0,0724</b>	<b>0,0611</b>	<b>0,1074</b>	<b>0,1175</b>	<b>0,0123</b>	<b>0,0479</b>	<b>-0,0437</b>	<b>0,0391</b>

gom. Analiziramo li veličine, vrlo je interesantno kako najveću pozitivnu veličinu fiksacijskog indeksa imamo za gen-lokus kod populacije Crni vrh i to za Mnr – B (Menadionreductase). To upućuje na prisutnost jačeg inbridinga, kad se analizira samo ovaj gen-lokus. Pored toga, interesantna je veličina fiksacijskog indeksa za genlokus Got-B (Glutamatoxalacetattransminase), s veličinom nula, a to upućuje na prisutnu genetičku ravnotežu u populaciji Vranica, prema Hardy-Weinberg-ovom zakonu ako se promatra samo taj gen-lokus.

Posebnu pažnju kod analize treba usmjeriti na gen-lokus 6Pgdh-A jer je njegova veća heterozigotnost u populacijama povezana s većom tolerantnošću prema zračnim zagađenjima, odnosno populacije s većim negativnim veličinama fiksacijskog indeksa za ovaj gen-lokus, pokazuju veći stupanj otpornosti (HOSIUS i BERGMANN 1993; BERGMANN i HOSIUS 1996; LONGAUER i dr. 2001). Kako smo u našem istraživanju dobili pozitivne i relativno visoke veličine fiksacijskog indeksa za pet istraživanih populacija iz Hrvatske, možemo reći kako one ne pokazuju zadovoljavajući stupanj otpornosti, za razliku od bosansko-hercegovačkih koje su u tri slučaja negativne (Tablica 3.). Slično kao gen-lokus 6Pgdh-A ponaša se i gen-lokus 6Pgdh-B te bi trebalo obratiti pažnju tijekom obnove, uz molekularno-genetičke analize za ovaj gen-lokus.

Analizom srednjih fiksacijskih indeksa, prikazanih u Tablici 3, vidljivo je kako samo u dvjema populacijama imamo negativne veličine, a to znači i kako pokazuju izvjesnu odsutnost inbridinga. To su populacija Čabulja iz zapadne Hercegovine, koja inače pripada malim i izoliranim populacijama te Skrad iz područja Gorskog kotara, koja pripada grupi velikih populacija. Ostale populacije imaju pozitivne

veličine, a fiksacijski indeks promatra se za čitav set gen-lokusa i obično predstavlja njihovu srednju veličinu, što ukazuje na veće ili manje prisustvo inbridinga u njima.

Ako pak detaljnije analiziramo te pozitivne veličine, možemo primijetiti kako se najvišim srednjim pozitivnim veličinama fiksacijskog indeksa izdvajaju dvije populacije - Biokovo i Crni vrh. U pitanju su male i izolirane populacije, jedna iz zaleđa Jadranskog mora, a druga s oboda Panonskog bazena. U tim malim i izoliranim populacijama vladaju specifični procesi pod djelovanjem genetičkog drifta. Sve rečeno o ovim dvjema populacijama, upućuje na to kako je u njima vrlo vjerovatno prisutan inbriding.

Ukupna veličina srednjeg fiksacijskog indeksa za svih 10 istraživanih populacija je 0,0434, što ukazuje na globalno prisustvo inbridinga, a što je vjerovatno posljedica tisućljetnog djelovanja čovjeka u njima. Interesantno je kako isključimo li dobivene veličine za populaciju Biokovo i Crni vrh, veličina fiksacijskog indeksa bila bi manja za oko 50% te bi to bila veličina relativno bliska nuli.

## DISKUSIJA I PREPORUKE

### DISCUSSION AND SUGGESTIONS

Genetički drift, odnosno inbriding, obično se pojavljuje u populacijama s malim brojem jedinki, kad slučajnost može biti odlučujući čimbenik koji će genetički aleli biti češće, a koji rjeđe zastupljeni. Tako male populacije, prije svega one nastale u procesu genetičkog drifta, podložne su jačoj pojavi inbridinga, što je potvrđeno u populacijama Crni Vrh i Biokovo. Sam genetički drift predstavlja promjene u frekvenciji gena i karakteristikama populacije kojima je uzrok više slučajnost, a ne selekcija, mutacija ili migracija.. Pored toga i sam efektivni broj individua koje su zastupljene u takvim populacijama igra odlučujuću ulogu u pojavi inbridinga, odnosno sam način na koji su te individue nastale. Izuzetak su možda male populacije u kojima djeluju specifični selekcijski procesi, a što je poseban fenomen. Kao primjer imamo populaciju *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei na Siciliji, gdje selekcija favorizira samo heterozigotne individue (VICARIO i dr. 1995) te našoj populaciji Čabulja. Prisustvo velike heterozigotnosti u toj maloj izoliranoj populaciji s planine Čabulja može se dovesti u vezu sa specifičnim selekcijskim procesima koji vladaju u njoj, odnosno specifičnim uvjetima okoliša, u zapadnoj Hercegovini. Sličnu situaciju imamo i u populacijama *Pinus leucodermis* Ant., o čemu izvještava BOSCHERI i dr. (1994).

Do interesantnih rezultata je došla SCHROEDEROVA (1989) u svom istraživanju gdje je rabila dva enzimska sustava (Idh i 6-Pgdh) te dobila pozitivne srednje veličine fiksacijskog indeksa. U našem istraživanju u šest populacija imamo prisutne negativne veličine za gen-lokus Idh-B, dok je nešto nepovoljnija situacija s gen-lokusima 6-Pgdh.

GIANNINI i dr. (1994) u svom su istraživanju na običnoj jeli, uporabom triju enzimskih lokusa (Got, Idh i Shd), dobili pozitivne veličine fiksacijskog indeksa,

što govori kako je istraživana populacija Campolino u sjevernim Apeninima jako opterećena inbridingom, dok u našem istraživanju imamo većinom negativne veličine, što upućuje kako je u našim populacijama prisutan veći stupanj heterozigotnosti.

U istraživanju koje je u Austriji provela M. BREITENBACH-DORFER i dr. (1997), dobivena je prosječna veličina ukupnog fiksacijskog indeksa od 7,7 % (0,0770), koja ukazuje na prisustvo inbridinga, dok je ta veličina u našem istraživanju niža i iznosi 0,0434. Ovo upućuje na bolje stanje kod prirodnih populacija obične jele u Bosni i Hercegovini te Hrvatskoj. Time se može potvrditi i veća vitalnost obične jele iz područja Dinarskih Alpa, od one iz središnje Europe.

Analizom dobivenih rezultata u ovom istraživanju, a na temelju fiksacijskog indeksa, može se primijetiti kako je u nekim populacijama srednja vrijednost indeksa negativna, što ukazuje kako je stvarna heterozigotnost u tim populacijama veća od očekivane te u njima samo neki od istraživanih gen-lokusa ukazuju na postojanje inbridinga. Tako ovaj rezultat može biti temeljna smjernica u pravcu propisivanja uzgojno-gospodarskih mjera u procesu prirodne ili umjetne obnove, a uz poštovanja genetičkog biodiverziteta tih populacija.

Stoga, glede dobivenih rezultata, slobodnije se mogu provoditi sve uzgojno-gospodarske mjere u populacijama s negativnim veličinama fiksacijskog indeksa, a tu se prije svega misli na veličinu zahvata sječom u procesu obnove, odnosno može se ostaviti manji broj stabala koja će poslužiti kao sjemenska u procesu obnove. Kod populacija gdje su veličine fiksacijskog indeksa bliske nultoj veličini ili su pak jednake, zahvat bi trebao biti nešto umjereniji od prijašnjeg jer jačim zahvatom (sječom) populacije možemo poremetiti i izbaciti iz uravnoteženog stanja. Ako su pak u pitanju populacije s visokim pozitivnim veličinama fiksacijskog indeksa, valja biti oprezan tijekom provođenja bilo kakvog zahvata, svaki jači zahvat treba biti isključen bez obzira na stanje sastojine, kako se ne bi narušila već vrlo labilna struktura populacije te bi broj sjemenskih stabala koja se ostavljaju u procesu obnove trebao biti daleko veći. U prebornim sastojinama koje su za običnu jelu optimalne, efektivni broj stabala igrao bi presudnu ulogu te bi trebao biti što veći. Ako već imamo genetički drift u populaciji, mora se imati u vidu kako je dovoljno da se iz reprodukcijanskog ciklusa isključi samo nekoliko jedinki i odmah se pojave vidljive i nesagledive posljedice u genetičkoj strukturi buduće populacije. Prije svega se misli na pojavu jačeg inbridinga, a to povlači povećano učešće praznog sjemena (šturog) te opću slabost i depresivnost u rastu prirodnog pomlatka u procesu obnove. Kasnije sljede loš prirast i prinos te sniženje boniteta sastojine, odnosno populacije. Na temelju dobivenih rezultata istraživanja, posebnu pažnju treba obratiti na populacije Biokovo i Crni vrh. Za populaciju Biokovo interesantno je, kako je M. GRADEČKI-POŠTENJAK (2002) u svom istraživanju dobila najniže veličine klijavosti sjemena, a što potvrđuju i rezultati ovog istraživanja, kroz veličinu fiksacijskog indeksa.

Na temelju dobivenih rezultata fiksacijskog indeksa kod populacija obične jele iz zapadne Hrvatske (Fužine, Gerovo, Skrad i Vrbovsko), posebnu pažnju treba

usmjeriti na praćenje promjene veličina fiksacijskog indeksa tijekom obnove tih populacija. U tim bi aktivnostima trebalo posebnu pažnju trebalo usmjeriti na praćenje heterozigotnosti i veličinu fiksacijskog indeksa kod gen-lokusa 6Pgdh-A, tijekom procesa obnove tih populacija. Razlog tome je što bi se njegovom većom heterozigotnošću postigla veća tolerantnost, naspram propadanja usljed onečišćenja, a što su u svojim istraživanjima potvrdili HOSIUS i BERGMANN (1993), BERGMANN i HOSIUS (1996) te LONGAUER i dr. (2001). Stoga bi tijekom obnove tih populacija redovito trebalo raditi molekularno-genetičke analize te usmjeriti uzgojno-gospodarske aktivnosti na povećanje heterozigotnosti, odnosno dobivanje negativnih veličina fiksacijskog indeksa. Na ovaj bi se način bar djelomično moglo smanjiti propadanje jelovih šuma u Gorskom Kotaru, koje su već dugi niz godina izložene štetnom djelovanju atmosferskih onečišćenja (TIKVIĆ i dr. 1995; SELETKOVIĆ i TIKVIĆ 1996). Slična situacija je i s populacijama iz Bosne i Hercegovine, ali još pokazuju dobar stupanj otpornosti. Kako smo u ovom istraživanju kod osam populacija dobili pozitivne veličine srednjeg fiksacijskog indeksa, one nam mogu poslužiti u svrhu definiranja mjera koje se trebaju provesti u cilju obnove. U procesu obnove treba uvažiti i rezultate istraživanja koje je dobio FINKELDEY (1993), a došao je do spoznaje kako je sadni materijal obične jele obično u mnogim slučajevima opterećen nedovoljnom genetičkom informacijom ako je u pitanju umjetna obnova, odnosno postojanjem velikog broja jedinki nastalih samooplodnjom ili inbridingom, tj. gubitkom adaptacijske sposobnosti. Osnovni razlog ležao je u sabiranju i korištenju sjemena s malog broja sjemenskih stabala te se o tome kako kod prirodne tako i kod umjetne obnove mora strogo voditi računa, posebno kakva je efektivna veličina populacije.

Stoga, kako bismo održali optimalnu genetičku strukturu u našim populacije obične jele, a i drugih vrsta, trebamo, kroz uzgojno-gospodarske mjere, voditi računa o sljedećem:

odrediti optimalni broj biljaka u procesu prirodne obnove, kako bi se u kasnijim stadijima dobio zadovoljavajući broj biljaka koje bi predstavljale genetičku strukturu populacije (ZIEHE i dr. 1989)

kod umjetne obnove strogo se pridržavati korištenja sjemena sabranog sa što više stabala ravnomjerno raspoređenih u populaciji, kao i koristiti sjeme sabrano u različitim godinama u sastojini, kako bi se smanjilo moguće štetno djelovanje inbridinga i bolje očuvala genetička struktura populacije jer se može dogoditi da zbog nekog razloga dio stabala u godini sabiranja nije cvjetao ili plodnosio (MÜLLER-STARCK 1991; KONNERT 1996)

održavati što je moguće veću heterogenost sastojine te na minimum svesti bilo kakve mjere njege i druge radove u populaciji, što znači omogućiti prirodnoj selekciji eliminiranje što više neprilagođenih jedinki (MUONA i dr. 1988)

prirodnu i umjetnu obnovu populacija treba pratiti povremenim genetičko-molekularnim istraživanjima u populacijama jer se genetičke razlike između stare i mlade populacije, uz odgovarajuće uzgojne mjere, mogu svesti na minimum. (BEHM i KONNERT 1999)



## ZAKLJUČAK

### CONCLUSION

1. U osam od deset istraživanih populacija obične jele u Bosni i Hercegovini te Hrvatskoj, fiksacijski indeks je pozitivan, što upućuje na prisustvo inbridinga te je potreban poseban oprez kod uzgojno-gospodarskih aktivnosti u njima.
2. Primijenjena metoda može dati jako dobru sliku genetičke strukture populacija, na temelju koje se mogu preporučiti potrebne mjere za održavanje genetičke raznolikosti u istraživanim populacijama.
3. Kod gospodarenja prirodnim populacijama, kao i njihove obnove, redovito treba pratiti genetičke strukture, kako bi se pravodobno mogle poduzeti mjere za održanje genetičke raznolikosti koja karakterizira svaku populaciju.
4. Posebnu pažnju tijekom istraživanja i kontrole uzgojno-gospodarskih radova treba usmjeriti na gen-lokus 6Pgdh-A jer se pojava njegove heterozigotnosti, a samim tim i negativnog fiksacijskog indeksa, povezuje s povećanom tolerantnošću na zagađenja i propadanje.

## LITERATURA

### REFERENCES

- BALLIAN, D., 2003: Procjena genetičke varijabilnosti obične jele (*Abies alba* Mill.) analizom izoenzima u dijelu prirodnih populacija Bosne i Hercegovine i Hrvatske. Šum. list 127 (3-4): 135-151, Zagreb.
- BALLIAN, D., D. KAJBA, 2003: Estimation of the isoenzyme genetic variability of the silver fir (*Abies alba* Mill.) from the area of Gorski kotar (Croatia). Periodicum Biologorum, Vol. 107: 1: 67-72.
- BEHM, A., M. KONNERT, 1999: Conservation of Forest Genetic Resources by Ecologically Oriented Forest Management- a Realistic Chance?. Forst und Holzwirtschaft, 194: 215-235.
- BERGMANN, F., H. R. GREGORIUS, J. B. LARSEN, 1990: Levels of genetic variation in European silver fir (*Abies alba* Mill.) are they related to the species decline. Genetica, 82 (1): 1-10.
- BERGMANN, F., B. HOSIUS, 1996: Effects of heavy-metal polluted soils on the genetic structure of Norway spruce seedling populations. Water, Air and Soil Pollution, 89: 363-373.
- BREITENBACH-DORFER, M., M. KONNERT, W. PINSKER, F. STARLINGER, T. GEBUREK, 1997: The contact zone between two migration routes of silver fir, *Abies alba* (*Pinaceae*), revealed by allozyme studies. Plant Systematics and Evolution, 206: 259-272.
- BOSCHERINI, G., M. MORGANTE, P. ROSSI, G.G. VENDRAMIN, 1994: Allozyme and chloroplast DNA variation in Italian and Greek population of *Pinus leucodermis*. Heredity 73: 284-290.
- DUCCI, F., 1991: Morphological variation in silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings from provenances in central and southern Italy. Annali del Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, publ. 1994, 22: 53-73.

- FINKELDEY, R., 1993: Die Bedeutung allelischer Profile für die Konservierung genetischer Ressourcen bei Waldbäumen, Göttingen, Forstgenet. Ber., 14:176.
- GIANNINI, R., L. PARDUCCI, P. ROSSI, F. VILLANI, 1994: Genetic structure and mating system of silver fir in the Campolino reserve (North Apennins, Italy), *Jur. Genet. & Breed.* 48: 335-338.
- GRADEČKI-POŠTENJAK, M., 2002: Varijabilnost nekih svojstava češera i sjemena obične jele (*Abies alba* Mill.) u dijelu prirodnog rasprostranjenja u Hrvatskoj. Šumarski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Magistarski rad, Zagreb, 220.
- HADŽISELIMOVIĆ, R., 2005: Bioantropologija – Biodiverzitet recentnog čovjeka. INGEB – Sarajevo, 198.
- HOSIUS, B., F. BERGMANN, 1993: Adaptation of Norway spruce to heavy metal contaminated soil. In: Rone, V. (ed.): Norway spruce Provenances and Breeding. Latvian Forest Research Institute 'Silva', Riga, 200-207.
- HUSSENDÖRFER, E., M. KONNERT, F. BERGMANN, 1995: Inheritance and linkage of isozyme variants of silver fir (*Abies alba* Mill.). *Forest Genetics*, 2 (1): 29-40.
- KONNERT, M., 1995: Isoenzymuntersuchungen bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Weißtanne (*Abies alba* Mill.) – Anleitung zur Trennmethodik und Auswertung der Zymogramme. Teisendorf.
- KONNERT, M., 1996: Genetische Variation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Bayern. Mitteilungen der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Gotha, 11:71-81.
- KONNERT, M., 1999: Herkunftsüberprüfung mit biochemisch-genetischen Methoden. *Der Weihnachtsbaum*, 5: 4-9.
- LONGAUER, R., D. GÖMÖRY, L. PAULE, D. F. KARNOSKY, B. MAŇKOVSKÁ, G. MÜLLER-STARCK, K. PERCY, R. SZARO, 2001: Selection effects of air pollution on gene pools of Norway spruce, European silver fir and European beech. *Environmental Pollution*, 115: 405-411.
- MORGENSTERN, E. K., 1996: Geographic Variation in Forest Trees. University of British Columbia, 209.
- MÜLLER-STARCK, G., 1991: Genetic processes in seed orchards. In: Giertych, M., Mátyás, C. (ed.): Genetics of Scots Pine. Elsevier, Amsterdam, 147-162.
- MUONA, O., A. HARJU, K. KÄRKKÄINEN, 1988: Genetic comparison of natural and nursery grown seedlings of *Pinus sylvestris* using allozymes, *Scand. J. of Forest. Res.*, 3:37-46.
- SCHROEDER, S., 1989: Die Weißtanne in Süddeutschland: Genetische Variation, Kline, Korrelationen. *Allg. Forst. und J-Ztg.*, 169 (5): 100 -104.
- SELETKOVIĆ, Z., I. TIKVIĆ, 1996: Oštećenost šumskih ekosustava različitih stanišnih prilika u Republici Hrvatskoj. U: Sever, S. (ed.), Zaštita šuma i pridobivanje drva, Šum. fak. Zagreb i Šum. ins. Jastrebarsko, 81-88.
- TIKVIĆ, I., Z. SELETKOVIĆ, I. ANIĆ, 1995: Propadanje šuma kao pokazatelj promjene ekoloških uvjeta u atmosferi. *Šum. list, Zagreb*, 11-12: 361-371.
- VICARIO, F., G. G. VENDRAMIN, P. ROSSI, P. LIÒ, R. GIANNINI, 1995: Allozyme, chloroplast DNA and RAPD markers for determining genetic relationships between *Abies alba* and the relic population of *Abies nebrodensis*. *Theoretical and Applied Genetics*, 90 (7-8), 1012-1018.
- WENDEL, J.F., N. F. WEEDEN, 1989: Visualization and Interpretation of Plant Isozymes. (ed.) Soltis, D.E., Soltis, P.S.: *Isozymes in Plant Biology*, London, 5- 45.
- ZIEHE, M., H. R. GREGORIUS, H. GLOCK, H. H. HATTEMER, S. HERZOG, 1989: Gene resources and gene conservation in forest trees: General concept. In: Scholc, F., Gregorius, H. R., Rudin, D. (ed.): *Genetic Effects of Air Pollutants in Forest Tree Populations*, Springer-Verlag, Berlin, 173-185.

## IMPORTANCE OF EVALUATION OF GENETIC LOADING IN STANDS OF SILVER FIR (*Abies alba* Mill.) ON THE BASIS OF FIXATION INDEX AND ITS APPLICATION

### Summary

*In this study fixation index or Wright's coefficient of inbreeding was investigated on a molecular-genetic level for Silver fir from Bosnia & Herzegovina and Croatia. Some of the results used had been presented in earlier investigations, and some of the data are presented for the first time. The values of the mean fixation index for the populations in this research showed the presence of inbreeding in eight of ten populations. The situation for the fixation index for individual gen-locus differed from population to population. The obtained values of the fixation index ranged from -0.0437 for the Skrad (Croatia) population to 0.1175 for the Biokovo (Croatia) population.*

*The Čabulja (Bosnia & Herzegovina) population, which can be classed a very small and isolated population, showed negative value of the fixation index. This indicates the presence of large heterozygosity in this small population, which can be connected with the specific selective processes which are predominant in it.*

*The greatest values of the fixation index were obtained for the small isolated populations of Biokovo and Crni vrh (Bosnia & Herzegovina). We obtained the greatest positive value of fixation index, 1,0000, for the gen-locus Mnr -B (Menadionreductase) in the Crni vrh population. Gen-locus Got-B in the Vranica population had zero value and in this case we have genetic equilibrium according to the Hardy-Weinberg law. Gen-locus 6Pgdh-A showed a lack of heterozygosity for four populations from western Croatia (Fužine, Gero-vo, Skrad and Vrbovsko) with a positive value of fixation index, which were exposed to extensive dieback of Silver fir.*

*On the basis of the obtained results, eight of the nine investigated population have a positive fixation index, which indicates the presence of inbreeding, and special care is needed for silvicultural-management activity in these populations. Special care during research and control of silvicultural-management works should be paid to gen-locus 6Pgdh-A, because the occurrence of its heterozygosity and consequently negative fixation index, is linked with increased tolerance to contamination and decline. From the results obtained it can be concluded that the applied method can produce a very good picture of the genetic structure of populations, on the basis of which necessary measures can be recommended for maintenance of genetic diversity in an investigated population. The genetic structure should be regularly monitored both with regard to management of natural populations and also their reforestation, in order to ensure prompt measures for maintaining the genetic diversity, which characterises each population.*

**Key words:** fixation index, inbreeding, populations, *Abies alba* Mill.

