

## UTJECAJ GLOBALNIH KLIMATSKIH PROMJENA NA EKOLOŠKU NIŠU OBIČNE JELE (*Abies alba* Mill.) U HRVATSKOJ

### EFFECTS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON THE ECOLOGICAL NICHE OF SILVER FIR (*Abies alba* Mill.) IN CROATIA

Igor ANIĆ, Joso VUKELIĆ, Stjepan MIKAC, Darko BAKŠIĆ, Damir UGARKOVIĆ<sup>1</sup>

**SAŽETAK:** Obična jela jedna je od najvažnijih gospodarskih vrsta drveća u Hrvatskoj. Rasprostranjena je na području Dinarida i na panonskom gorju. Globalne klimatske promjene izazivaju opravdanu bojazan u mogućnost smanjenja ekološke niše obične jele u Hrvatskoj. U ovom su istraživanju analizirani određeni ekološki čimbenici koji izgrađuju ekološku nišu unutar područja pridelaska jele. Korišteni globalni klimatski model podrazumijeva dvostruko povećanje koncentracije stakleničkih plinova ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , CFC-11 i CFC-12) unutar današnjega areala obične jele u razdoblju 2000 – 2100. godine, iz čega proizilazi povećanje prosječne godišnje temperature za ~ 2,5 °C i smanjenje prosječne godišnje količine oborina za ~ 152 mm/god. u odnosu na razdoblje 1950 – 2000. godine. Istraživanje je pokazalo kako bi ove promjene mogle prouzročiti smanjenje ekološke niše obične jele u Hrvatskoj ( $p > 0,9$ ) za gotovo 85 % u odnosu na današnje stanje.

**Ključne riječi:** *Abies alba* Mill., areal, ekološka niša, globalne klimatske promjene, klimatski čimbenici

#### UVOD – Introduction

Obična jela (*Abies alba* Mill.) je jedna od najvažnijih europskih gospodarskih vrsta drveća. Prirodno pridelazi u planinskoj regiji istočne, zapadne, južne i srednje Europe. Većinski dio njezine europske populacije nalazi se unutar geografskih koordinata od 52° N u Poljskoj do 40° N na sjeveru Grčke, te od 5° E u zapadnim Alpama do 27° E u rumunjskim i bugarskim Karpatima. Manji dio pridelazi na Pirinejima, u Središnjem Masivu, i na sjeveru Francuske (Wolf 2003, Sagnard i dr. 2002). U Hrvatskoj raste u gorskom vegetacijskom pojasu Dinarida i na panonskim gorama: Papuku, Pšunju, Medvednici i Macelju (Jelaska 2005).

Paleontološka istraživanja pokazala su kako se obična jela na ove prostore u postglacijalnom razdoblju širila iz refugija na južnom Balkanu, južnoj Italiji, Pirinejima i u Grčkoj unatrag 38000 godina (Berson i dr. 2004, Lang 1994, Culiberg i Šercelj 1995, Šercelj i

Culiberg 1991). Rezultati analiza jezerskih sedimenata s lokaliteta Pula maar (područje današnjega Balatona) potvrdili su njezino postojanje prije tri milijuna godina (Wills i dr. 1999). Zna se kako je obična jela rasla na području Plitvičkih jezera još prije 6000 godina (Srdoč i dr. 1985). Rezultati analiza treseta uzorkovanog s lokaliteta Dubravice (područje Hrvatskog Zagorja) su pokazali njezinu prisutnost na nadmorskoj visini od 180 m u razdoblju Antlantika (Gigov i Nikolić 1960).

Paleobotaničari sugeriraju da se jela, zajedno s bukvom, u središnjoj Europi prirodno proširila djelovanjem klime. Tako Berson (2004) objašnjava kako je pet čimbenika bilo odlučujuće za širenje bukve i jele u Europi: klimatske promjene, migracijski putevi, zastoj u rastu populacije, antropogeno djelovanje i prirodni požari. Isti autor zaključuje da su klimatske promjene bile odlučujuću čimbenik za širenje jele.

Utjecaj klimatskih čimbenika na dinamiku vegetacije moguće je uočiti unutar godine dana, ali i u dugim razdobljima koja se protežu do 100000 godina. Neka istraživanja upućuju na postojanje veze između dina-

<sup>2</sup> Izv. prof. dr. sc. Igor Anić, prof. dr. sc. Joso Vukelić, Stjepan Mikac, dipl. ing. šum., doc. dr. sc. Darko Bakšić, Damir Ugarković, dipl. ing. šum., Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pp 422, HR – 10002 Zagreb, mikac@sumfak.hr

mike vegetacije i orbitalnih frekvencija (Milankovićevih ciklusa) u amplitudama od ~ 124000 godina (Dynesius i Jansson 2000, Wills i dr. 1999). Promjena klime je pojava u prirodi koja je uzrokovana prirodnim varijabilnošću. U posljednjem interglacijalnom razdoblju (Holocenu), uz pomoć izotopa kisika  $\delta^{18}\text{O}$  uzorkovanih na Greenland-u, utvrđene su male temperaturne oscilacije (Dansgaard i dr. 1993). Oscilacije u Holocenu iznosile su  $\pm 1,5\text{ }^\circ\text{C}$  za prosječnu ljetnu i godišnju temperaturu (Wick i Tinner 1997), dok rekonstrukcija padalina pokazuje znatnu varijaciju tijekom Holocena (Magny i dr. 2003). Davis (2003) je ustanovio varijacije u prosječnoj temperaturi od  $+ 0,5$  do  $- 2,5\text{ }^\circ\text{C}$  za cijelu Europu tijekom Holocena.

Danas postoje mnoge znanstvene rasprave i tumačenja uzroka globalnog zagrijavanja. Tako Karl i dr. (2003) smatraju kako su globalne klimatske promjene rezultat antropogenog djelovanja od početka industrijske revolucije. Analize bušotina leda ukazuju na visok porast koncentracije  $\text{CO}_2$  u atmosferi i porast atmosferskog  $\text{CO}_2$  tijekom industrijskog razdoblja s 280 ppmv (1750. godine) na 365 ppmv (1998. godine), (Höglberg 2007). Neke studije ukazuju na progresivni porast  $\text{CO}_2$  od 20 ppmv u razdoblju 8000. – 2000. godina BP (Indermühle i dr. 1999). Jedna od novijih teorija bila je da su povećanu razinu  $\text{CO}_2$  u atmosferi prouzročile prirodne promjene u kontinentalnim i oceanskim rezervoarima. Ruddiman (2003) navodi da je antropogeni utjecaj na globalni klimatski sustav započeo još prije 8000 godina, s prvim poljoprivrednim razvojem. Raynaud (2005) otkriva u bušotinama leda povišenu razinu  $\text{CO}_2$  tijekom razdoblja MIS 11,3 koja pokazuje sličnu vrijednost onoj u razdoblju predindustrijske revolucije. Hasselmann (1997) ukazuje da se tijekom prošloga stoljeća prosječna temperatura povisila

za  $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ . Prema istom autoru teorija o antropogenom uzroku globalnih klimatskih promjena je još uvijek kontroverzna. Loutre (2003) ukazuje na vrlo dugi trenutni interglacijalni period od ~ 50000 godina. Razlog tomu je visoka koncentracija  $\text{CO}_2$  koja sprječava razvoj ledenog štita, a samim time i početak nove glacijacije.

Bez obzira na raznolikost tumačenja uzroka pojave klimatskih promjena, činjenica je kako one mijenjaju okoliš u kojemu se pojavljuje neka vrsta. Skup ekoloških čimbenika koji izgrađuju okoliš u kojemu se pojavljuje određena vrsta naziva se *ekološka niša*. Prema Hutchinsonu (1957) ekološka niša je opseg okolišnih čimbenika unutar kojih se pojavljuje određena vrsta.

Globalne klimatske promjene tijekom prošloga stoljeća prouzročile su promjene u okolišu, a time i promjene ekoloških niša za sve vrste drveća, pa tako i obične jele. Osim toga, na dinamiku populacije obične jele utječu i drugi čimbenici, primjerice suhe i mokre depozicije (Glavač i dr. 1985, Prpić 1987), visoka gustoća herbivora (Mayer 1981, Roženberger i dr. 2007), međuvrsna kompeticija, neprimjereno gospodarenje (Matić i dr. 2006, 1996) te napadi štetnih insekata i patogenih gljiva (Klepac 1972). Zbog svega toga učestale su sumnje u mogućnost povlačenja, pa čak i nestanka obične jele s njenih staništa.

Cilj je ovoga istraživanja ustanoviti za područje Republike Hrvatske:

(I) ekološku nišu obične jele na temelju odabranih klimatskih čimbenika

(II) razlike između dijelova njezina areala s obzirom na odabrane klimatske čimbenike

(III) moguće promjene ekološke niše s obzirom na model globalnih klimatskih promjena za razdoblje 2000 – 2100. godine.

## MATERIJAL I METODE RADA – Material and methods

U radu su korišteni klimatski podaci za razdoblje 1950 – 2000. godine preuzeti iz baze *Worldclime* (Hijmans i dr. 2005). Za izgradnju prognosnog modela korišteno je osam klimatskih varijabli i reljefni čimbenici, primjerice nadmorska visina (m) i nagib ( $^\circ$ ). Za prognozu klimatskih promjena za razdoblje 2000 – 2100. godine korišten je model CCM3 (*Climate Change Model*) koji predpostavlja dvostruku razinu stakleničkih plinova ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , CFC-11 i CFC-12) u atmosferi u odnosu na današnju (Govindasamy i dr. 2003). Svi klimatski podaci su unešeni, kao gridovi, u rezoluciji 30 sec (~ 1  $\text{km}^2$ ). Podaci o pridolasku jele na području Republike Hrvatske korišteni su iz najnovijih istraživanja o rasprostranjenosti šumskih staništa (Vukelić i dr. 2008), s ICP ploha, baze fitocenoloških snimaka Republike Hrvatske i iz osnova gospodarenja. Na svakoj plohi pridolazak jele ocijenjen je binarnim varijablama – 1 (nazočna) i 0 (odsutna).

Nezavisne varijable korištene za izgradnju logističkog modela i prognozu su: nadmorska visina – *Elev* (m), nagib – *Slope* ( $^\circ$ ), prosječna godišnja temperatura – *MeanAnnT* ( $^\circ\text{C}$ ), prosječni godišnji temperaturni opseg – *MeanAnnTR* ( $^\circ\text{C}$ ), dobiven kao razlika prosječne temperature najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca, zatim odnos između prosječnoga mjesečnoga opsega temperature i prosječnoga godišnjega temperaturnog opsega – *IsoTherm* ( $^\circ\text{C}$ ), prosječna temperatura najsušeg kvartala – *MeanTDQ* ( $^\circ\text{C}$ ), prosječna temperatura najhladnijeg mjeseca – *MeanTCM* ( $^\circ\text{C}$ ), prosječna godišnja količina oborina – *MeanAnnP* (mm), prosječna količina oborina u najtoplijem kvartalu – *MeanPWQ* (mm) i koeficijent varijacije oborina – *PreS* (mm).

Areal jele podijeljen je na tri dijela: DIN – dinarski dio areala jele unutar zajednice *Omphalodo-Fagetum* /Tregubov 1957/ Mariniček et al. 1993, ACD – dinarski dio acidofilnih jelovih zajednica (*Blechno-Abiete-*

tum Horvat /1938/ 1950) i PAN – panonski dio areala koji obuhvaća areal jele unutar zajednice (*Festuco drymeiae-Abietetum* Vukelić et Baričević 2007). Razlike u klimatskim čimbenicima unutar dijelova areala jele utvrđene su jednostrukom analizom varijance (ANOVA). Analiza i vizualizacija ekološke niše unutar areala utvrđena je diskriminantnom analizom (DA).

## REZULTATI – Results

Analizom varijance utvrđene su značajne statističke razlike između svih grupa područja prirodnog rasprostranjenja obične jele s obzirom na nadmorsku visinu – *Elev* ( $F = 4,0783$ ,  $p = 0,0000$ ), koeficijent varijacije oborina – *PreS* ( $F = 5,1062$ ,  $p = 0,0000$ ), prosječnu količinu oborina u najtoplijem kvartalu – *MeanPWQ* ( $F = 5,0930$ ,

Prognozni model ekološke niše za područje rasprostranjenosti jele danas i za razdoblje do 2100. godine s obzirom na model klimatskih promjena izrađen je pomoću logističke regresije (LOGREG), izraza:  $p(y) = \exp(LP)/(1+\exp(LP))$ , gdje *LP* predstavlja linearnu kombinaciju nezavisnih varijabli (Flantua i dr. 2007).

$p = 0,0000$ ), prosječnu temperaturu najhladnijeg mjeseca – *MeanTCM* ( $F = 2,9190$ ,  $p = 0,0000$ ), prosječnu godišnju količinu oborina – *MeanAnP* ( $F = 279,8634$ ,  $p = 0,0000$ ) i prosječnu godišnju temperaturu – *MeanAnnT* ( $F = 3,5401$ ,  $p = 0,0000$ ). Statistički značajne razlike nisu utvrđene između acidofilnih jelovih zajednica i

Tablica 1. Prosječne vrijednosti stanišnih i klimatskih čimbenika u šumskim zajednicama obične jele u Hrvatskoj za razdoblje 1950 – 2000. godine

Table 1 Mean values of site and climatic factors in the forest communities of Silver fir in Croatia for the period 1950 – 2000

Grupa Group	<i>Elev</i>	<i>MeanAnnTR</i>	<i>MeanAnnT</i>	<i>MeanAnnP</i>	<i>IsoTherm</i>	<i>MeanTDQ</i>	<i>MeanTCM</i>	<i>MeanPWQ</i>	<i>PreS</i>	<i>Slope</i>	N
	(m)	(°C)	(°C)	(mm)	(°C)	(°C)	(°C)	(mm)	(mm)	(°)	
PAN	587	29,4	8,2	960,4	30,8	0,1	-5,5	311,0	24,0	5,0	238
DIN	887	26,6	7,6	1338,9	28,8	8,5	-4,3	294,7	19,2	5,3	3874
ACD	787	26,4	8,5	1372,3	29,0	1,1	-3,3	318,6	17,7	4,4	98
<b>Prosjek Average</b>	<b>754</b>	<b>27,5</b>	<b>8,1</b>	<b>1223,7</b>	<b>29,5</b>	<b>3,2</b>	<b>-4,4</b>	<b>308,1</b>	<b>20,3</b>	<b>4,9</b>	<b>4210</b>

*Elev* – nadmorska visina/elevation

*MeanAnnTR* – prosječni godišnji temperaturni opseg/mean annual temperature range

*MeanAnnT* – prosječna godišnja temperatura/mean annual temperature

*MeanAnnP* – prosječna godišnja količina oborina/mean annual precipitation quantity

*IsoTherm* – odnos između prosječnoga mjesečnoga opsega temperature i prosječnoga godišnjega temperaturnog opsega/the ratio between the mean monthly temperature range and the mean annual temperature range

*MeanTDQ* – prosječna temperatura najsušeg kvartala/mean temperature of the driest quarter

*MeanTCM* – prosječna temperatura najhladnijeg mjeseca/mean temperature of the coldest quarter

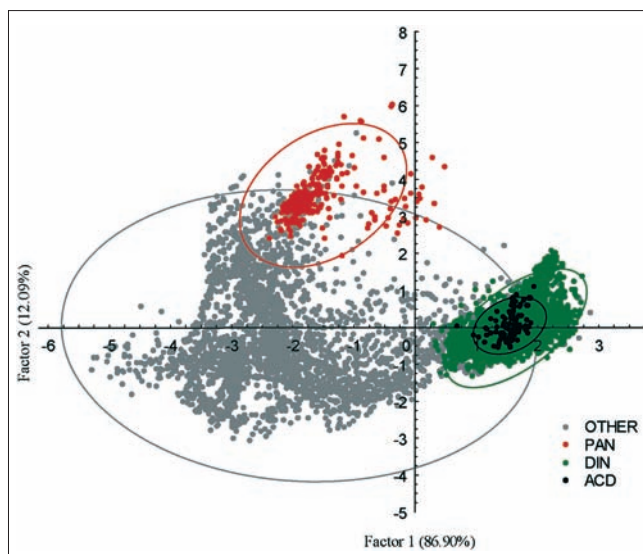
*MeanPWQ* – prosječna količina oborina u najtoplijem kvartalu/mean annual precipitation in the warmest quarter

*PreS* – koeficijent varijacije oborina/coefficient of seasonal precipitation variation

*Slope* – nagib terena/slope

panonskih bukovo-jelovih zajednica s obzirom na nagib i prosječnu temperaturu najsušeg kvartala. Između di-

narskih i panonskih bukovo-jelovih šuma nisu utvrđene razlike jedino u nagibu. Unutar dinarskoga dijela areala jele razlike nisu utvrđene samo između prosječnog godišnjeg opsega temperature – *MeanAnnTR* i odnosa između mjesečnog i godišnjeg opsega temperature – *IsoTherm* (Tablica 1).



Slika 1. Scatter plot kanoničkih vrijednosti diskriminantne analize Wilks'  $\lambda = 0,1647609$ ,  $F(27,21761) = 688,45$ ,  $p < 0,0000$ . Elipse označavaju 95 % mjerenja unutar populacije. Označe predstavljaju istraživane populacije: PAN – panonski dio areala jele, DIN – dinarske bukovo-jelove šume, ACD – acidofilne jelove šume, OTHER – ostali lokaliteti u Hrvatskoj.

Figure 1 Scatter plot of values of canonical discriminant analysis Wilks'  $\lambda = 0,1647609$ ,  $F(27,21761) = 688,45$ ,  $p < 0,0000$ . Ellipses denote 95 % measurements within the population. Signs represent the investigated populations: PAN – Pannonian part of fir distribution range, DIN – Dinaric beech-fir forests, ACD – acidophilic fir forests, OTHER – other localities in Croatia.



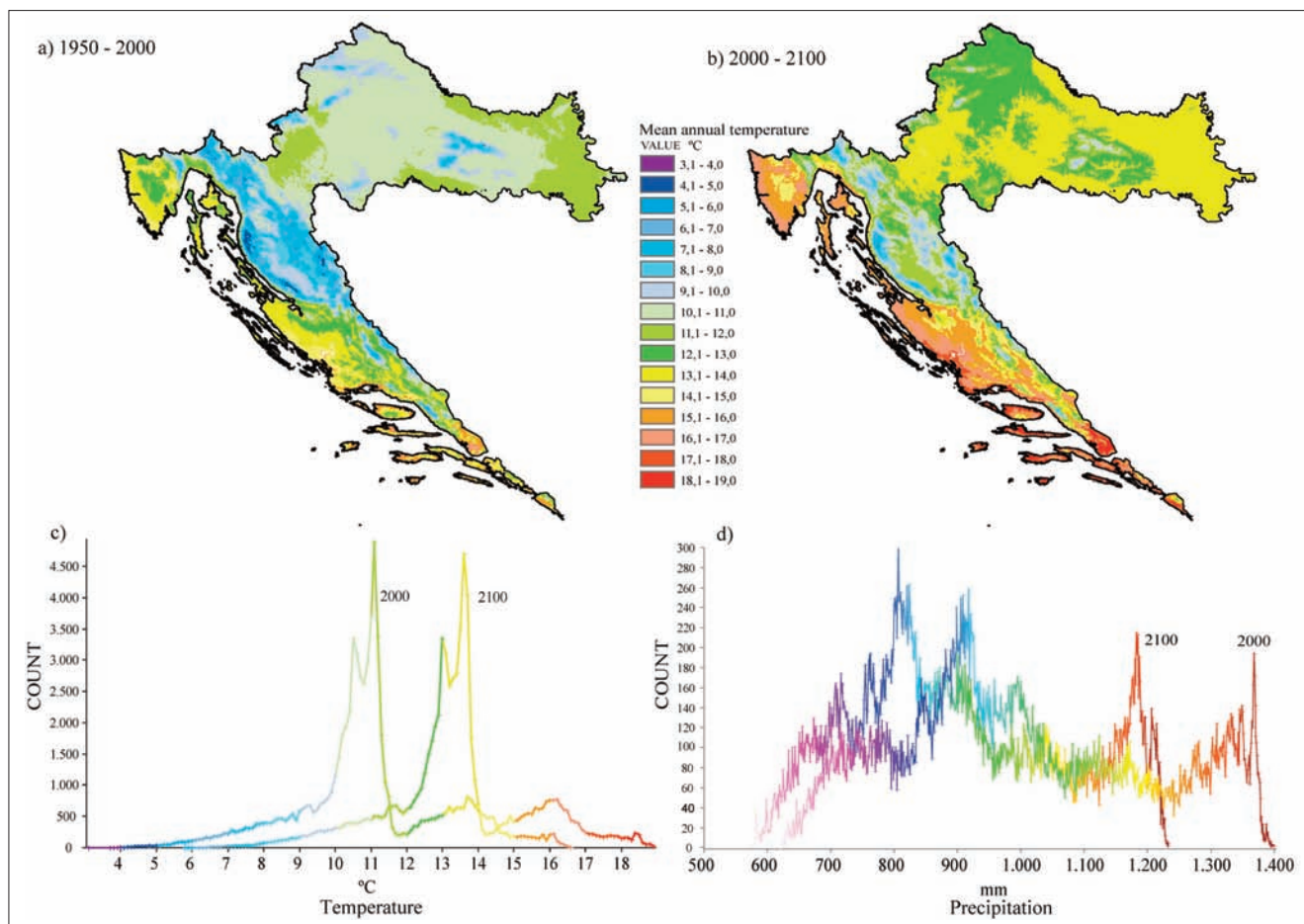
Diskriminantna analiza odabranih klimatskih čimbenika rezultirala je s tri diskriminacijske funkcije koje objašnjavaju 100 % kumulativnu populacijsku varijabilnost. Prva kanonička diskriminantna funkcija objašnjava 86,90 % ukupne populacijske varijabilnosti. Na slici 1. prikazane su projekcije prve dvije diskriminantne funkcije. Vidimo kako se jasno odvaja panonski dio areala jele (PAN) od dinarskog dijela areala (DIN).

U tablici 2. prikazane su vrijednosti standardnih koeficijenata diskriminacijskih kanoničkih varijabli. Vidi se kako najveći utjecaj na diskriminaciju dijelova areala u prvom faktoru imaju prosječna godišnja temperatura, prosječna temperatura najhladnijeg mjeseca i prosječna godišnja količina oborina. Najveći utjecaj na odvajanje panonskoga dijela areala (PAN) od ostalih grupa ima druga kanonička funkcija. S

Tablica 2. Standardni koeficijenti kanoničkih varijabli  
Table 2 Standard coefficients of canonical variables

Varijable – Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3
MeanAnnP (mm)	-0,839783	1,07472	-0,09671
MeanAnnT (°C)	1,249381	2,93909	2,41452
PreS (mm)	0,263759	-1,07401	-0,00823
MeanPWQ (mm)	0,215261	-1,91629	-0,67891
MeanTCM (°C)	-0,975998	-3,52392	-4,47144
MeanAnnTR (°C)	-0,537016	-1,09419	-1,89192
MeanTDQ (°C)	0,031058	-0,31271	0,74192
Slope (°)	0,009289	-0,20001	0,05883
IsoTherm (°C)	0,016064	-0,18174	-0,14652
Elev (m)	-0,049241	-0,22121	-0,41764
Eigenvalue (Svojsstvene vrijednosti)	3,100522	0,43121	0,03634
Cum. Prop (Kumulativna proporcija)	0,868964	0,98982	1,00000

obzirom na korištene klimatske čimbenike, jasno se razdvajaju dva tipa areala jele u Hrvatskoj (Slika 1) – panonski dio (PAN) i dinarski dio (DIN, ACD). S obzirom na analizirane klimatske čimbenike nemoguće je razdvojiti dinarski dio areala jele u dvije skupine.



Slika 2. Prostorna razdioba prosječne godišnje temperature: a) za razdoblje 1950 – 2000. godine, b) prema modelu klimatskih promjena (Worldclime) za razdoblje 2000 – 2100. godine, c) distribucija frekvencija prosječnih temperatura za razdoblje 1950 – 2000 i 2000 – 2100. godine, d) distribucija frekvencija prosječnih oborina za razdoblje 1950 – 2000 i 2000 – 2100. godine

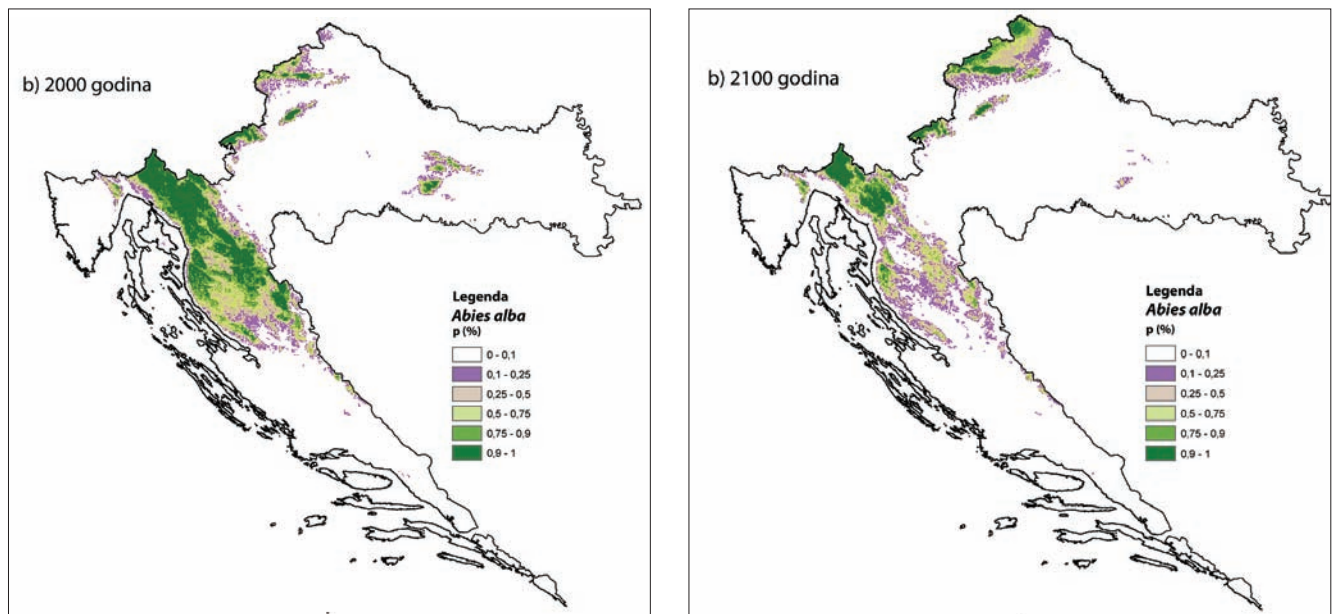
Figure 2 Spatial distribution of mean annual temperature: a) for the period 1950 – 2000, b) according to the climate change model (WORLDCLIME) for the period 2000 – 2100, c) mean annual temperature for the period 1950 – 2000, and 2000 – 2100, d) mean annual precipitation for the period 1950 – 2000, and 2000 – 2100

Logistički prognozni model rezultirao je visokom objašnjenom varijabilnosti (Cox and Snell  $R^2 = 0,653$ , Nagelkerke  $R^2 = 0,876$ , AUC = 0,978). Za testiranje validacije modela napravljena je karta vjerojatnosti pojave jele. Granična vjerojatnost pojavnosti vrste u većini logističkih regresijskih modela iznosi 0,5 (Miller i Franklin 2002). Veća vjerojatnost ukazuje na staništa pogodna za pojavu jele s obzirom na klimatske čimbe-

nike. Usporedbom s postojećim arealom jele (Corine Land Cover 2000, izvor: www.azo.hr) vjerojatnost  $\geq 0,9$  odgovara njezinom stvarnom arealu u Hrvatskoj. Za izgradnju prognoznog modela sve varijable pokazale su se statistički značajne (Tablica 4). Jedino prosječna godišnja temperatura – *MeanAnnT* (°C) ima negativan utjecaj na pridolazak jele.

Tablica 3. Rezultati logističkog prognoznog modela  
Table 3 Results of logistic prognostic model

Statistika – Statistic	Broj stup. slobode DF	$\chi^2$ – Chi-square	Pr > Chi
-2 Log (Likelihood)	10	6867,938	< 0,0001
Score	10	4618,337	< 0,0001
Wald	10	921,860	< 0,0001



Slika 3. Prostorna distribucija ekološke niše (potencijalnog staništa) obične jele dobivena logističkim regresijskim modelom: a) stanje u razdoblju 1990 – 2000. godine, b) predviđanje za razdoblje 2000 – 2100. godine

Figure 3 The spatial distribution of ecological niche of silver fir obtained with logical regression model: a) for the period 1990 – 2000, b) predicting for the period 2000 – 2100

Tablica 4. Procijenjeni parametri prognoznog modela logističke regresije ( $\alpha = 0.05$ )  
Table 4 Estimated prognostic parameters of logistic regression model ( $\alpha = 0.05$ )

Varijable Variables	Vrijednost Value	Standardna pogreška Standard error	$\chi^2$ Chi-Square	Pr > Chi	Donja granica Lower bound (95 %)	Gornja granica Upper bound (95 %)	Odds-odnos Odds ratio
$\beta_0$	-88,183	6,45	186,941	< 0,0001	-100,824	-75,542	
<i>Elev</i> (m)	0,002	0,001	6,924	0,009	0,001	0,004	1,002
<i>MeanAnnTR</i> (°C)	0,357	0,054	43,759	< 0,0001	0,251	0,463	1,429
<i>MeanAnnT</i> (°C)	-0,683	0,098	48,547	< 0,0001	-0,875	-0,491	0,505
<i>MeanAnnP</i> (mm)	0,011	0,001	102,577	< 0,0001	0,009	0,014	1,011
<i>IsoTherm</i> (°C)	0,552	0,116	22,565	< 0,0001	0,324	0,78	1,737
<i>MeanTDQ</i> (°C)	0,007	0,002	15,758	< 0,0001	0,003	0,01	1,007
<i>MeanTCM</i> (°C)	0,603	0,097	38,626	< 0,0001	0,413	0,793	1,828
<i>MeanPWQ</i> (mm)	0,11	0,007	237,466	< 0,0001	0,096	0,124	1,116
<i>PreS</i> (mm)	0,428	0,042	104,804	< 0,0001	0,346	0,51	1,534
<i>Slope</i> (°)	0,093	0,019	24,473	< 0,0001	0,056	0,13	1,097

Površina Republike Hrvatske na kojoj raste obična jela kao vrsta iznosi 323 286 ha (Izvor: Corine Land Cover 2000). Prema logističkom modelu površina ekološke niše (potencijalnog staništa) iznosi 337 610 ha ( $p \geq 0,9$ ). Razlika od 14 324 ha, distribuirana uglavnom na području panonskih bukovo-jelovih šuma na Žumberku, Samoborskom gorju, Psunju te na dijelu Učke, upućuje na mogući antropogeni utjecaj tijekom povijesti (Slika 3a).

S obzirom na promijenjene klimatske parametre, mogu se prognozirati znatnije promjene ekološke niše obične jele do 2100. godine. Naime, prognozni model s obzirom na model globalnih klimatskih promjena ukazuje

na značajne promjene u području slavonskoga gorja i na većem dijelu Velebita. Smanjenje područja vjerojatnosti  $\geq 0,9$  iznosi 288155 ha, ili u relativnom iznosu za 85,35 % manju površinu u odnosu na današnju (Slika 3b).

Izrađeni prognozni model logističke regresije točno je klasificirao 94,79 % procijenjenih uzoraka, dok je uspješnost validacije 95,29 %. Prema modelu globalnih klimatskih promjena prosječna godišnja temperatura će se povećati za  $\sim 2,5$  °C u odnosu na prosječnu godišnju temperaturu za razdoblje 1950 – 2000. godine ( $Z = -93,045$ ,  $p < 0,0001$ ). Prosječna godišnja količina oborina će se smanjiti za  $\sim 152$  mm/god. ( $Z = 79,337$ ,  $p = < 0,0001$ ) unutar područja sadašnjega areala obične jele (Tablica 5).

Tablica 5. Prosječne vrijednosti klimatskih čimbenika za razdoblja 1950 – 2000. i 2000 – 2100. godine

Table 5 Mean values of climatic factors for the periods 1950 – 2000 and 2000 – 2100

	MeanAnnP	MeanPWQ	PreS	MeanAnnT	MeanTCM	MeanAnnTR	MeanTDQ	IsoTherm
(1950 – 2000)	(mm)	(mm)	(mm)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
PAN	960,4	311,0	24,0	8,2	-5,5	29,4	0,1	30,8
DIN	1338,9	294,7	19,2	7,6	-4,3	26,6	8,5	28,8
ACD	1372,3	318,6	17,7	8,5	-3,3	26,4	1,1	29,0
<b>Ukupno - Total</b>	<b>1318,3</b>	<b>296,1</b>	<b>19,4</b>	<b>7,7</b>	<b>-4,3</b>	<b>26,7</b>	<b>7,9</b>	<b>29,0</b>
(2000 – 2100)	(mm)	(mm)	(mm)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
PAN	869,9	276,9	29,9	10,8	-3,6	30,8	2,5	30,0
DIN	1184,1	267,9	24,7	10,1	-2,6	28,2	10,8	27,9
ACD	1216,3	304,2	20,4	11,0	-1,6	27,9	3,3	28,1
<b>Ukupno - Total</b>	<b>1167,1</b>	<b>269,2</b>	<b>24,9</b>	<b>10,1</b>	<b>-2,7</b>	<b>28,4</b>	<b>10,2</b>	<b>28,0</b>
Razlika - Difference	(mm)	(mm)	(mm)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
PAN	-90,6	-34,1	5,9	2,6	1,9	1,4	2,4	-0,8
DIN	-154,8	-26,8	5,5	2,5	1,6	1,6	2,3	-0,9
ACD	-155,9	-14,4	2,7	2,4	1,7	1,5	2,2	-0,8
<b>Ukupno - Total</b>	<b>-151,2</b>	<b>-26,9</b>	<b>5,5</b>	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>2,3</b>	<b>-0,9</b>

Tablica 6. Ekološka niša obične jele za razdoblje 1990 – 2000. godine i moguća promjena za razdoblje 2000 – 2100. godine

Table 6 Ecological niche of silver fir for the period 1990 – 2000 and possible change for the period 2000 – 2100

Vjerojatnost pojave jele Probability p (%)	2000. godina – 2000. year		2100. godina – 2100. year		Razlika Difference (%)
	Površina – Area (ha)				
0 – 10	4433837	80%	5002625	89%	9%
10 – 25	189697	3%	236495	4%	1%
25 – 50	198358	4%	166450	3%	-1%
50 – 75	197826	4%	87214	2%	-2%
75 – 90	191596	3%	48545	1%	-2%
90 – 100	337611	6%	49456	1%	-5%

## RASPRAVA – Discussion

Globalne klimatske promjene prouzročene su redovitim ciklusima (tzv. Milankovićevim ciklusima) u Zemljinoj orbiti koji se dešavaju približno svakih 100000 godina (Hays 1976). Milankovićevi ciklusi određuju količinu insolacije, a time i temperaturu na Zemlji. Kao posljedica toga uočena je smjena hladnih i toplih razdoblja u njezinoj prošlosti. Topla razdoblja (interglacijacije) ponavljaju se svakih 100000 godina, a traju približno 10000 godina (Berger 1981). Tijekom

razdoblja interglacijacija razina atmosferskog CO<sub>2</sub> postupno raste u odnosu na glacialno razdoblje. Svako toplo razdoblje nosi karakteristična klimatska obilježja. Cheddadi (2007) usporedbom dinamike ekosustava tijekom proteklih pet interglacijacija zaključuje da recentni razvoj vegetacije nije isti kao i prije 500000 godina. Postglacijalna migracija ovisi o kapacitetu vrste za migracijom i kolonizacijom novih područja. Brojni su primjeri o dominaciji i nestanku pojedinih vrsta



drveća s određenih staništa u prošlosti. Tako Willis (1999) ukazuje na istovremeno postojanje subtropskih rodova kao što su: *Carya*, *Pterocarya*, *Liquidambar*, *Sequoia*, *Taxodium*, *Nissa* i dr., zajedno s jelom i bukvom na području današnjega Balatona. Drugi primjer je vrsta *Acer monspessulanum*, koja je danas raširena u južnoj Europi, a u razdoblju Ipswichiana prostirala se do britanskog poluotoka (West 1980). Isti autor je ustanovio kako je omorika (*Picea omorika*) u razdoblju Pastoniana rasla sve do juga Engleske. Vrsta *Rhododendron ponticum* tijekom posljednjih interglacijacija bila je raširena sve do zapadne Irske, a danas pridolazi samo u Južnoj Europi. Prema Reille (1995) tijekom razdoblja Emiana u umjerenom pojasu europskih šuma dominirao je grab, kojega je kasnije, u razdoblju holocena, potisnula bukva. U razdoblju ranog interglacijala rodovi *Zelkova* i *Ulmus* imali su u Italiji značajnu ulogu u sastavu šuma. Danas se ove vrste pojavljuju kao relikti u vrlo malim izoliranim područjima (Russo i Cheddadi 1996). Cheddadi i dr. (2005) zaključuju da dinamika vegetacije pokazuje skladnija obilježja, ukoliko se promatra bioklimatska grupa taksona (BAG – *Bioclimatic Affinity Groups*) koja ima više klimatskih naklonosti nego pojedina vrsta. Klimatski čimbenici utječu na dinamiku prirodnih ekosustava na globalnoj razini te na migraciju i pridolazak vrste.

Utjecaj vegetacije na globalni ciklus kruženja CO<sub>2</sub> je značajan, jer šumski ekosustavi prekrivaju više od 4,1 x 10<sup>9</sup> ha površine Zemlje, a šume i šumsko tlo sadržavaju oko 1146 x 10<sup>15</sup> g C. Od toga iznosa 49 % otpada na borealne šume, 14 % na umjerene i 37 % na tropske šume. Više od 2/3 ugljika u šumskim ekosustavima sadržano je u tlu. Gospodarski zahvati utječu na smanjenje razine atmosferskog ugljika (Dixon i dr. 1994). Prema Lubhann (2008) prosječno vezivanje ugljika u europskim šumama iznosi 1730 kg ha<sup>-1</sup>god<sup>-1</sup>. Krčenjem šuma za dobivanje poljoprivrednih površina u atmosferu je oslobođena velika količina ugljika (2 x 10<sup>15</sup> g god<sup>-1</sup>), (Richter i dr. 1999). Preko 30 % šuma u Svijetu su negospodarene, od čega su polovica prašume distribuirane u borealnoj i umjerenj zoni sjeverne hemisfere. Ti šumski kompleksi vežu ~ 1,3±0,5 Gt ugljika na godinu (Luyssaert i dr. 2008). Iznos produkcije CO<sub>2</sub> varira s temperaturom tijekom godine. Tako je u proljeće i ljeto produkcija 2 – 3 puta veća nego u zimskom razdoblju pri istoj temperaturi, a u prosjeku godišnje oko 3400 g CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (Woodneil i dr. 1966). Borealni šumski ekosustavi su veliki bazeni ugljika, no u njima su procesi dekompozicije usporeni. Globalno zagrijavanje u skoroj

budućnosti može prouzročiti suprotni učinak u smislu oslobađanja velikih količina ugljika, upravo iz borealnih šumskih ekosustava. Iz navednog može se izvući zaključak kako postoji značajna veza između klime, atmosferskog CO<sub>2</sub> i vegetacije na globalnoj razini.

Klimatski model upotrijebljen u ovom istraživanju pretpostavlja dvostruko povećanje razine stakleničkih plinova u idućih sto godina. Nedostatak klimatskih prognostičkih modela je što ne uzimaju u obzir utjecaj vegetacije na globalno kruženje ugljika, aerosola, oblačnosti i oceansko-atmosferskog spoja klime (Hasselmann 1997). Na lokalnoj razini odlučujuću ulogu imaju, osim klimatskih, i drugi čimbenici kao što su gustoća populacije herbivora, patogeni organizmi, prizemna razina ozona, gospodarski zahvati, promjene svojstava tla, kompeticija, mezo- i mikroklimatski čimbenici i drugo. Novija istraživanja ukazuju na znatnu oštećenost i propadanje sastojina jele u području Dinarida (Božić i dr. 2006). Potočić (2005) utvrđuje da sušne godine u kombinaciji s tlima siromašnim kalcijem uzrokuju smanjenje koncentracije kalcija u iglicama jele. To je važan biogeni element, jer štiti biljku od smanjenja lisne površine tijekom suše. Matić i dr. (1998) utvrđuju povećanu učestalost uroda jele kao posljednicu promijenjenih stanišnih prilika.

Obična jela je tijekom evolucije stvorila neke prilagodbe na promijenjene uvjete okoliša, primjerice dugotrajno podnošenje zasjene, odgodu visinskoga rasta zbog obrane od kasnih proljetnih mrazeva, fizičku koakciju korijenja, stvaranje biogrupa i razvijen korijenski sustav (Prpić i Seletković 2000). Međutim, strah od otežanog uspijevanja obične jele u njezinoj ekološkoj niši je opravdan jer se može dogoditi da se u uvjetima naglih promjena klimatskih čimbenika vrsta neće uspjeti na vrijeme prilagoditi. Prognoza ovoga istraživanja pokazuje značajan utjecaj klimatskih čimbenika na ekološku nišu obične jele do 2100. godine.

Treba ipak imati u vidu kako svaki model ima svoje nedostatke. Modeli koji predviđaju globalne klimatske promjene sadrže veliku entropiju, jer ne uključuje sve one čimbenike koji posredno ili neposredno utječu na klimu. Modeliranje današnje ekološke niše obavljeno je pod pretpostavkom da gospodarenje šumama nije značajnije utjecalo na rasprostranjenost obične jele u Hrvatskoj. Zato bi buduća istraživanja trebala nastaviti u smjeru modeliranja gustoće njezine populacije ili omjera smjese na razini realizirane ekološke niše u kompeticiji s bukvom i drugim vrstama drveća, uključujući mehanizme rasta populacije.

## ZAKLJUČAK – Conclusion

Istraživanje je pokazalo kako se današnji areal obične jele u Hrvatskoj značajno ( $p \geq 0,9$ ) ne razlikuje od potencijalnoga. To znači kako duga povijest gospoda-

renja šumama koja u kontinuitetu traje gotovo dva i pol stoljeća nije pridonijela smanjenju njezina areala.

Međutim, globalne klimatske promjene mogle bi dugoročno izazvati značajne promjene ekološke niše obične jele u Hrvatskoj. Prognostički model primijenjen u ovom istraživanju predmnijevao je dvostruko povećanje koncentracije stakleničkih plinova (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC-11 i CFC-12) koje bi izazvalo porast prosječne godišnje temperature za 2,5 °C i smanjenje prosječne godišnje količine oborina za 152 mm. U tom

bi se slučaju do 2100. godine moglo očekivati smanjenje ekološke niše obične jele u Hrvatskoj za približno 85 % u odnosu na razdoblje 1950 – 2000. godine.

To ne znači neposredno smanjenje areala obične jele već sužavanje opsega ekološke niše ili stanišnih prilika za njezino optimalno uspijevanje na istraživanom području.

#### ZAHVALA– Acknowledgement

Istraživanje je obavljeno u sklopu znanstveno-istraživačkog programa Ministarstva znanosti, tehnologije i športa Republike Hrvatske pod naslovom Potrajno i integralno gospodarenje šumskim ekosustavima u Hrvatskoj,

te znanstvenih projekata Dinamika obnove bukovo-jelovih prašuma hrvatskih Dinarida (oznaka MZOŠ 068-0682041-1950) i Šumska staništa i šumske zajednice na Medvednici (oznaka MZOŠ 068-0682041-2780).

#### LITERATURA – References

- Beaumont, L. J., L. Hughes, M. Poulsen, 2005: Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling*, 186, 250–269.
- Berger, A. L., 1981: The astronomical theory of paleoclimates. *Climatic variations: facts and theories* (ur. A. L. Berger), str. 501–525, Reidel, Dordrecht.
- Božić, M., O. Antonić, R. Pernar, S. Jelaska, J. Križanac, J. Čavlović, V. Kušan, 2006: Modelling the damage status of silver fir trees (*Abies alba* Mill.) on the basis of geomorphological, climatic and stand factors. *Ecological Modelling* 94: 202–208.
- Cheddadi, R., J. L. Beaulieu, J. Jouzel, V. A. Ponef, J. M. Laurent, M. Reille, D. Raynaud, A. Bar-Hen, 2005: Similarity of vegetation dynamics during interglacial periods. *PNAS* 39: 13939–13943.
- Corine Land Cover 2000, izvor: [www.azo.hr](http://www.azo.hr)
- Dansgaard, W., H. B. Clausen, N. Gundestrup, C. U. Hammer, S. F. Johnsen, P. M. Kristinsdottir, N. Reeh, 1982: A New Greenland Deep Ice Core. *Science* 218: 1273–1277.
- Davis, B. A. S., S. Brewer, A. C. Stevenson, J. Guiot, Data Contributors, 2003: The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quaternary Science Reviews* 22: 1701–1716.
- Dixon, R. K., A. M. Solomon, S. Brown, R. A. Houghton, M. C. Trexler, J. Wisniewski, 1994: Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science* 263: 185–190.
- Dynesius, M., R. Jansson, 2000: Evolutionary consequences of changes in species' geographical distributions driven by Milankovitch climate oscillations. *PNAS* 97: 9115–9120.
- Flantua, G. A. S., H. J. Boxel, H. Hooghiemstra, J. Smaalen, 2007: Application of GIS and logistic regression to fossil pollen data in modeling present and past spatial distribution of the Colombian savanna. *Climate Dynamic* 29: 697–712.
- Gigov, A., V. Nikolić, 1960: Rezultati analize polena na nekim tresavama u Hrvatskoj. *Glasnik Prirodjačkog muzeja*, Ser. B, 15: 3–26.
- Glavač, V., H. Koenies, B. Prpić, 1985: On the entry of aerial pollutants into beech and fir forests on the Dinaric range of south-western Yugoslavia. *Šumarski list* 9–10: 429–447.
- Hardin, G., 1960: The Competitive Exclusion Principle. *Science* 131: 1292–1297.
- Hays, J., J. Imbrie, N. Shackleton, 1976: Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science* 194: 1121.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.
- Högberg, P., 2007: Environmental science: Nitrogen impacts on forest carbon. *Nature* 447: 781–782.
- Indermühle, A., T. F. Stocker, F. Joos, H. Fischer, H. J. Smith, M. Wahlen, B. Deck, D. Mastroianni, J. Tschumi, T. Blunier *et al.*, 1999: Holocene carbon-cycle dynamics based on CO<sub>2</sub> trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica. *Nature* 398: 121–126.
- Jelaska, S., 2005: Prilog raščlambi dinarskih bukovo-jelovih šuma na četvrtj razini Nacionalne klasifikacije staništa RH. *Drypis*, 1/1–3.



- Klepac, D., 1972: Investigations of the effect of defoliators on the increment of Fir forests. Šumarski list 1–2: 40–62.
- Laubhann, D., H. Sterba, G. J. Reinds, D. W. Vries, 2008: The impact of atmospheric and climate on growth in Europe monitoring plots: An individual growth model. *Forest Ecology and Management*. In Press.
- Loutre, M. F., 2003: Clues from MIS 11 to predict the future climate: a modeling point of view. *Earth and Planetary Science Letters*. *Earth Planetary Science Letter* 212: 213–224.
- Luysaert, S., E. D. Shulze, A. Börner, A. Knohl, D. Hessenmöller, B. E. Law, P. Ciais, J. Grace, 2008: Old-growth forest as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- Magnya, M., C. Bégeot, J. Guiot, O. Peyron, 2003: Contrasting patterns of hydrological changes in Europe in response to Holocene climate cooling phases. *Quaternary Science Reviews* 22: 1589–1596.
- 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, 7–28.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 1996: Neke karakteristike i problemi prebornih šuma obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj. *Šumarski list* CXX(3–4): 91–99, Zagreb.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 1998: Utjecaj klimatskih promjena na strukturu i razvoj šumskih ekosustava. U: M. Maceljski, (ur.), *Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama*: 239–250, HAZU, Zagreb.
- Mayer, H., M. Neumann, 1981: Struktureller und entwicklungsdynamischer Vergleich der Fichten – Tannen – Buchen – Urwälder Rothwald/Niederösterreich und Čorkova Uvala/Kroatien. *Forstw. Cbl.* 100: 111–132.
- Peguero-Pina, J. J., J. J. Camarero, A. Abadía, E. Martín, R. González-Cascón, F. Morales, E. Gill-Pelegrin, 2007: Physiological performance of silver fir (*Abies alba* Mill.) population under contrasting climates near the south-west distribution limit of the species. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 202: 226–236.
- Potočić, N., T. Čosić, I. Pilaš, 2005: The influence of climate and soil properties on calcium nutrition and vitality of silver fir (*Abies alba* Mill.). *Environmental pollutions* 3: 596–602.
- Prpić, B., 1987: Decline of forest trees in Croatia with special emphasis on the load of Gorski Kotar area with acid rain and heavy metals. *Šumarski list* 1–2: 53–60.
- Prpić, B., Z. Seletković, 2001: Ekološka konstitucija obične jele. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti, 255–269, Zagreb.
- Raynaud, D., J. M. Barnola, R. Souchez, R. Lorrain, J. R. Petit, P. Duval, V. Y. Lipenkov, 2005: Palaeoclimatology The record for marine isotopic stage 11. *Nature* 436: 39–40.
- Reille, M., J. L. de Beaulieu, 1995: Pollen analysis of a long upper Pleistocene continental sequence in a Velay maar (Massif Central, France). *Quaternary Research* 44: 205–215.
- Richter, D. D., D. Markewitz, S. E. Trumbore, C. G. Wells, 1999: Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. *Nature* 400: 56–58.
- 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: 431–443.
- Ruddiman, W., 2003: The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climate Change* 61: 261–293.
- Russo-Ermolli, E., R. Cheddadi, 1996: Climatic reconstruction during the Middle Pleistocene: A pollen record from Vallo di Diano (Southern Italy). *Geobios* 30: 735–744.
- Terhürne-Berson, R., T. Litt, R. Cheddadi, 2004: The spread of *Abies* throughout Europe since the last glacial period: combined macrofossil and pollen data. *Veget. Hist. Archaeobot.* 13: 257–268.
- Sagnard, F., C. Barberot, B. Fady, 2002: Structure of Genetic diversity in *Abies alba* Mill. from southwestern Alps: multivariate analysis of adaptive and non-adaptive traits for conservation in France. *Forest Ecology and Management* 157: 175–189.
- Srdoč, D., B. Obelić, N. Horvatinčić, M. Culiberg, A. Šercelj, A. Slipčević, 1985: Radiocarbon dating and pollen analyses of two peat bogs in the Plitvice National Park. *Acta Botanica Croatica* 44: 41–46.
- Svenning, J. C., F. Skov, 2007: Could the tree diversity pattern in Europe be generated by post-glacial dispersal limitation? *Ecology Letters* 10: 453–460.
- Vukelić, J., S. Mikac, D. Baričević, D. Bakšić, R. Rosavec, 2008: Šumska staništa i

- šumske zajednice u Hrvatskoj – Nacionalna ekološka mreža. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, u tisku.
- West, R. G., 1980: Pleistocene forest history in East Anglia. *New Phytologist* 85: 571–622.
- Wick, L., W. Tinner, 1997: Vegetation changes and timberline fluctuations in the central alps as indicators of Holocene climatic oscillations. *Arctic and Alpine Research* 29: 445–458.
- Willis, K. J., 1994: The Vegetational History of The Balkans. *Quaternary Science Reviews* 13: 769–788.
- Willis, K. J., A. Kleczkowski, S. J. Crowhurst, 1999: 124,000-year periodicity in terrestrial vegetation change during the late Pliocene epoch. *Nature* 397: 685–688.
- Wolf, H., 2003. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Silver fir (*Abies alba* Mill.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 pages.
- Woodwell, G. M., W. R. Dykeman, 1966: Respiration of Forest Measured by Carbon Dioxide Accumulation during Temperature Inversion. *Science* 154: 1031–1034.

*SUMMARY: The aim of this research is to determine the following: the fundamental ecological niche or potential distribution range of silver fir in Croatia on the basis of selected climatic factors, differences between parts of fir distribution range with reference to the selected climatic factors and changes in the ecological niche in terms of the climate change model for the period 2000 – 2100.*

*Climatic data for the period 1950 – 2000 used in this work were taken from the Worldclime database (Hijmans et al. 2005). Eight climatic variables and relief factors were employed to construct the prognostic model, such as altitude (m), slope (°) and others. Highly correlated variables were rejected. To predict climate changes for the period 2000 – 2100, a CCM3 model (Climate Change Model) was used, which is based on double the current level of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC-11 and CFC-12) (Govindasamy et al. 2003). All climatic data in grid form were entered in 30-second resolution (~ 1 km<sup>2</sup>). Data on fir occurrence in Croatia were taken from the latest research on the distribution of forest sites (Vukelić et al. 2008), ICP plots, phytocoenological relevé database of the Republic of Croatia and management plans. In each plot fir occurrence was graded with binary variables – 1 (present) and 0 (absent).*

*Independent variables used to construct the logistic model and prediction included elevation – Elev (m), slope – Slope (°), mean annual temperature – MeanAnnT (°C), mean annual temperature range – MeanAnnTR (°C), obtained as the difference between the mean temperature of the warmest and the coldest month, then the ratio between the mean monthly temperature range and the mean annual temperature range – IsoTherm (°C), mean temperature of the driest quarter – MeanTDQ (°C), mean temperature of the coldest quarter – Mean TCM (°C), mean annual precipitation quantity – MeanAnnP (mm), mean annual precipitation in the warmest quarter – MeanPWQ (mm) and coefficient of seasonal precipitation variation – PreS (mm).*

*The distribution range of fir was divided into three parts: DIN – the Dinaric part of fir range within the community Omphalodo-Fagetum /Tregubov 1957/ Marinček et al. 1993, ACD – the Dinaric part of acidophilic fir communities (Blechno-Abietetum Horvat /1938/ 1950) and PAN – the Pannonian part encompassing fir range within the community Festuco drymeiae-Abietetum (Vukelić et Baričević 2007). Discriminant analysis (DA) was used to analyze and visualize ecological niches within the range. The prognostic model of ecological niches for the current distribution range of fir and that for the period until 2100 with regard to climate change model was made by means of logistic regression (LOGREG), expressions:  $p(y) = \exp(LP)/(1 + \exp(LP))$ , where LP represents linear combination of independent variables (Flantua et al. 2007).*

*According to the research, the current range of silver fir in Croatia does not differ dramatically ( $p \geq 0.9$ ) from the potential one. This suggests that longlasting forest management did not contribute to its reduction. However, the selected climatic factors could have a significant effect on the occurrence of silver fir in Croatia. The prognostic model shows that in conditions of global climate changes its potential range ( $p = \geq 0.9$ ) in Croatia could decrease by ~ 85% in the period 2000 – 2100.*

*Key words:* *Abies alba* Mill., distribution range, ecological niche, global climate changes, climatic factors