

# Odnos stanišnih i strukturnih čimbenika prema odumiranju i ishrani stabala obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom kotaru

Damir Ugarković, Ivica Tikvić, Zvonko Seletković

## Nacrtač – Abstract

Poznavanje zakonitosti djelovanja ekoloških čimbenika i reakcija članova ekosustava na te čimbenike nužno je kako bi se podržavalo prirodno funkcioniranje šumskih ekosustava kojima se gospodari. Promjene ekoloških čimbenika utječu značajno na nadzemni i podzemni dio ekosustava. Naglašena osjetljivost jelovih i bukovo-jelovih šuma na rubu njezina areala, odumiranje stabala te propadanje čitavih sastojina pridonijeli su da istraživanja provedemo upravo u tim šumama. Cilj je ovih istraživanja definirati stanišne čimbenike koji su u vezi s odumiranjem stabla obične jele u gorskoj Hrvatskoj, te utjecaj stanišnih čimbenika na stanje hraniva u iglicama i u tlu. Prikupljeni su podaci o dronom volumenu odumrlih stabala obične jele na razini svih odjela/odsjeka gospodarske jedinice. Igllice su uzorkovane sa stabala triju različitih stupnjeva osutosti, a uzorci tla s dubine od 30 cm.

Sastojine na rubu areala obične jele u Gorskom kotaru uvelike odumiru u odnosu na sastojine u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara.

U razdoblju od 1995. do 2007. u sastojinama na rubu areala u Gorskom kotaru prosječno je godišnje odumrlo 18,3 m<sup>3</sup>/ha obične jele. U istom razdoblju u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara prosječno je godišnje odumrlo 6,2 m<sup>3</sup>/ha. U sastojinama na rubu areala i u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara prosječno godišnje odumiranje stabala obične jele veće je od godišnjega prirasta. Intenzitet odumiranja stabala (m<sup>3</sup>/ha) statistički značajno negativno i vrlo slabo korelira s vegetacijskom količinom oborine (mm) i vodnom bilancom tla (mm).

U sastojinama na rubu areala i u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara inklinacija i nadmorska visina statistički značajno i negativno utječu na intenzitet odumiranja stabala (m<sup>3</sup>/ha). Kalcij i magnezij negativno i statistički značajno koreliraju s vrijednostima temperature zraka, a pozitivno s količinom oborine u vegetacijskom razdoblju, što je značajno za razdoblje suše i povećanih vrijednosti temperature zraka na području istraživanja.

Ključne riječi: odumiranje stabala, intenzitet odumiranja stabala, stanišni čimbenici, strukturni čimbenici, biogeni elementi, obična jela

## 1. Uvod – Introduction

Odumiranje stabala obične jele u hrvatskom arealu, a osobito u njezinu dinarskom dijelu, povezano je s kompleksom promjenjivoga djelovanja abiotskih i biotskih čimbenika. Unutar spomenutoga kompleksa klima te onečišćenje zraka i tla imaju zasigurno značajnu ulogu. Zdravstveno stanje stabala na rubu areala neke vrste može osigurati vrijedne informacije o odnosu prema stanišnim čimbenicima u vrijeme promjene klimatskih uvjeta (Macias i dr. 2006).

Funkcioniranje i razvoj šumskih ekosustava ovisi o dinamici rasta i razvoja organizama, međuvrstoj i unutarvrstoj konkurenciji, prirodnoj ravnoteži i utjecaju čovjeka. U tim se ekosustavima trajno događa prirodno odumiranje stabala zbog konkurencije za ograničenim uvjetima rasta. Kao posljedica promjene prirodnih stanišnih čimbenika javlja se propadanje i iznenadno odumiranje stabala. Ono je jedan od najvećih ekoloških problema u šumarstvu, a uzrokuje i značajne gospodarske probleme, kao što je smanjenje drvne zalihe, izostanak prirodne obnove, zakorov-

ljenje staništa i dr. Kronično propadanje i iznenadno odumiranje stabala pokazatelj je poremećaja u funkcioniranju šumskih ekosustava. Propadanje je stabala posljedica smanjene vitalnosti i fiziološke aktivnosti stabala. Odumiranje stabala predstavlja potpuni prestanak svih fizioloških funkcija (Eckmüllner i Sterba 2000, Tikvić i dr. 2006). U stručnim se šumarskim krugovima koriste nepravilni izrazi za odumrla stabla, kao što su »suha stabla« ili »sušci«. Izrazi su nepravilni jer se ne radi samo o gubitku vlage u stablu, nego i o prestanku svih funkcija.

U gospodarskim šumama volumen odumrlih stabala ili volumen stabala posječenih u sanitarnoj sječi najčešće se koristi za prikaz intenziteta odumiranja stabala, a može se koristiti i kao indikator zdravstvenoga stanja sastojina (Capecki 1981).

Intenzitet odumiranja stabala može se prikazati kao postotak odumiranja stabala (*mortality rate*) izračunat kao omjer broja odumrlih stabala s brojem živućih stabala (Busing i dr. 1996, Markalas 1992, Stanovsky 2002, Turčani i dr. 2003) ili u apsolutnom obliku kao  $m^3$ ,  $m^3/ha$  (Siwecki i dr. 1998).

Ciljevi su ovoga istraživanja prikazati odumiranje stabala obične jele prema stanišnim i strukturnim čimbenicima, izračunati intenzitete odumiranja prema volumenu, utvrditi dinamiku odumiranja stabala te utvrditi utjecaj stanišnih čimbenika na koncentraciju biogenih elemanata u iglicama i tlu.

## 2. Problematika istraživanja – *Object of research*

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), visoka gustoća herbivora (Mayer i Neumann 1981, Rožemberger i dr. 2007), međuvrsna kompeticija, neprimjereno gospodarenje (Matić i dr. 1996, Matić i dr. 2006) te napadi štetnih kukaca i patogenih gljiva (Klepac 1972). Zbog svega toga učestale su pretpostavke o mogućnosti povlačenja, pa čak i nestanka obične jele s njezinih staništa (Anić i dr. 2009).

Klimatske su prilike značajan čimbenik u procesu odumiranja stabala, jer one određuju vodne odnose, posebno u situacijama narušene opskrbe vodom, te transporta vode u šumskom drveću (Tesche 1989, Saxe 1993).

U protekla dva stoljeća fenomen odumiranja stabala obične jele uočen je i zabilježen u područjima njezina prirodnoga pridolaska (Krehan 1989, Elling 1993, Ell i Luhmann 1996, Prpić i dr. 2001).

Odumiranje stabala ima važnu ulogu u funkcioniranju i dinamici šumskih ekosustava. Ono je čimbenik promjene omjera smjese pojedinih vrsta drveća i strukture šume (Franklin i dr. 1987). Godine 1968. započela su petogodišnja istraživanja uzroka odumiranja jele u Lici i Gorskom kotaru. Utvrđeno je da predispoziciju odumiranja obične jele uvjetuju klimatske promjene, osobito zatopljenje i smanjenje vlažnosti u staništima jelovih šuma. Nadalje je utvrđeno da je jela u optimumu svoga areala izvan opasnosti odumiranja, što se ne odnosi na granicu njezina areala prema toplijim područjima (Prpić 1975). Webster i dr. (1996) istražujući stanje krošanja obične smreke, obične bukve i obične jele u Švicarskoj zaključili su da su nedostatak vlage u tlu i suša ključni čimbenici osutosti krošanja stabala.

Šafar (1965) navodi da je odumiranje obične jele na Maclju složene naravi i posljedica topografskih, klimatskih, pedosferskih i biotskih čimbenika. Prpić (1975) zaključuje da je obična jela s obzirom na svoje zahtjeve prema vodi vrsta uske ekološke amplitude.

Bezak i dr. (1991) istraživali su uzroke i posljedice odumiranja prirodnih jelovih šuma u Hrvatskoj u Lici i Gorskom kotaru u razdoblju od 1969. do 1990. godine. Istraživanje je Bezaka i dr. (1991) nastavak istraživanja uzroka i posljedica odumiranja prirodnih jelovih šuma u Hrvatskoj. Autori su utvrdili do kakvih je promjena došlo u tlu, kako se razvijao proces odumiranja obične jele te kakve su oscilacije razvojnoga tijeka debljinskoga i volumnoga prirasta u odnosu na stupanj oštećenja krošnje. Autori zaključuju da je odumiranje pojedinih stabala obične jele spor proces, mlađa stabla imaju veću vitalnost, a fiziološko je stanje jedan od čimbenika odumiranja stabala obične jele. Za razdoblje od 1969. do 1990. godišnji tečajni debljinski prirast pokazuje oscilacije za slabo i srednje oštećena jelova stabla, a u jako oštećenih stabala prirast se s vremenom smanjuje.

Švicarska je inventura šuma pokazala da se s povećanjem osutosti krošanja povećava smrtnost stabala (Dobertin i dr. 2001). Autori su potvrdili taj trend služeći se regresijskim modelom u koji je uključena osutost, dužina krošanja, oblik krošanja, položaj stabala u sastojini i njihove međusobne interakcije.

Thomas i dr. (2002) istraživali su odnos ekoloških čimbenika i odumiranja stabala obične jele na relativno većem području. U svojim su istraživanjima obuhvatili 3000 gospodarskih jedinica obične jele u Francuskoj. Rezultati istraživanja potvrđuju dominantni utjecaj nadmorske visine i starosti koji objašnjavaju čak 70 % osutosti stabala obične jele i 64 % žućenja iglica. Becker i dr. (1989) istraživali su utjecaj klime i gospodarenja na odumiranje obične jele na području Vosges (Francuska). Dendrokronološkom studijom utvrdili su nekoliko klimatski kriznih go-

dina. Suša ima jednu od ključnih uloga u odumiranju stabala obične jele. Analizom podatak s meteoroloških postaja utvrdili su značajne promjene klimatskih elemenata koje će imati svoje posljedice na šumske ekosustave. Autori dalje zaključuju da je obična jela vrlo osjetljiva na klimatske stresove i da klima ima glavnu ulogu na zdravstveno stanje jelovih šuma. Tikvić i dr. (2008) utvrdili su povećanje količine odumrloga drvnoga volumena stabala obične jele na sjevernom Velebitu. Zabilježeno je odumiranje stabala obične jele u visini godišnjega prirasta, a najveće je odumiranje na nižim nadmorskim visinama te blažim nagibima. Na sjevernom je Velebitu utvrđeno statistički značajno povećanje vrijednosti temperature zraka, a smanjenje je oborine prisutno, ali nije statistički značajno. Autori su utvrdili srednju do jaku korelaciju između temperature, oborine i drvene zalihe obične jele s intenzitetom odumiranja.

Promjene u prehranbenom i fiziološkom statusu uzrokovane manjkom oborine smatraju se razlogom odumiranja i propadanja španjolske jele na Pirinejima (Fromard i dr. 1991).

Stresni čimbenici koji rezultiraju oštećenjima šumskih ekosustava, zatim destrukcijom asimilacijskoga aparata drveća te poslije propadanjem čitavoga ekosustava jesu: suša, promjena klime, nagle i iznenadne promjene temperature (kolebanje makroklimatskih elemenata), promjene količina kemijskih tvari u atmosferi.

Sušna razdoblja kao stresni čimbenik jedan su od glavnih razloga odumiranja, oštećenosti i lošega zdravstvenoga stanja šumskih ekosustava obične jele (UN-ECE i EC 2003). Sušne godine, pogotovo na tlima siromašnim kalcijem, imaju negativan utjecaj na status Ca u stablima obične jele (Potočić i dr. 2005).

Fosfor se u tlu nalazi vezan u organskim i anorganskim formama. Organska je tvar glavni izvor fosfora, a fosfor vezan u organskoj formi mora se mineralizirati da bi postao biljci pristupačan. Stoga su količine fosfora u tlu ovisne o dekompoziciji organske tvari (Vanmechelen i dr. 1997). Na dostupnost fosfora utječe i reakcija tla (Bolan i dr. 2005). Najbolja pristupačnost fosfora javlja se u tlima kojima se pH-vrijednosti kreću u rasponu od 5,5 do 7,0 jer je upravo pri tim vrijednostima njegoa fiksacija najmanja.

Naglašena osjetljivost jelovih i bukovo-jelovih šuma na rubu njihova areala, odumiranje stabala te propadanje čitavih sastojina pridonijeli su da ova istraživanja provedemo u tim područjima.

S obzirom na značenje jelovih šuma za hrvatsko šumarstvo, privredu i stanovništvo postoji potreba za boljim razumijevanjem ugroženosti ovih šumskih ekosustava i za mjerama sanacije. Pojava odumira-

nja stabala obične jele primjetna je u cijeloj Europi, a odgovarajuće razlike u čimbenicima, kao što su tlo, klima i onečišćenje zraka, otežavaju utvrđivanje razloga za odumiranje, iako su predstavljene brojne hipoteze kako bi se objasnio ovaj fenomen (Krause i dr. 1986).

Iz dosadašnjih istraživanja jasno je da ishrana ima velik utjecaj na vitalnost stabala (Hallenbarter i dr. 1999). Gubitak hraniva iz drveća, prekid kruženja i usvajanja hraniva ili neravnoteža u ishrani vezani su uz smanjenje produktivnosti i stabilnosti šuma (Nillsson i dr. 1995). Utjecaj stanišnih čimbenika na koncentraciju hraniva, njihovo usvajanje i dinamiku i dalje su nezaobilazna pitanja u razmatranju uzroka i posljedica odumiranja jelovih stabala.

### 3. Materijal i metode istraživanja *Material and methods of research*

Za analizu odnosa klime prema odumiranju stabala i koncentraciji biogenih elemenata korišteni su podaci o vegetacijskoj temperaturi zraka (°C) i količinama oborine (mm) s meteoroloških postaja Vrelo Ličanke i Ravna Gora. Potencijalna evapotranspiracija (PET) i vodna bilanca tla (mm) izračunati su prema Thornthwaitov metodi (1948).

Za odabrane gospodarske jedinice iz terenskih manuala osmatranja i procjene zdravstvenoga stanja šuma koje se provodi svake godine prikupljeni su podaci o drvnom volumenu odumrlih stabala obične jele na razini svih odjela/odsjeka gospodarske jedinice. Podaci su prikupljeni za razdoblje od dvanaest godina (1995 – 2007). Drvni volumen odumrlih stabala izračunali smo izmjerom prsnoga promjera stabla na terenu i uz pomoć lokalnih tarifa. Regresijskim modelima (Zaninović i dr. 2004, Gajić-Čapka i dr. 2003) na osnovi nadmorskih visina i vertikalnih gradijenata dobiveni su podaci o temperaturi i količini oborine za svaki odjel/odsjek. Za svako područje istraživanja (pet gospodarskih jedinica) izrađen je digitalni model reljefa (DMR) s ekvidistantom od 10 m. Pomoću DMR-a derivirali smo i kvantificirali geomorfološke karakteristike (varijable) istraživanoga područja.

Na području istraživanja uzorkovanje iglica iz krošanja stabala i tla obavili smo na pet pokusnih ploha. Dvije pokusne plohe smještene su na nadmorskoj visini 800 m n. v., a dvije na 1100 m n. v. u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi (*Omphalodo-Fagetum* /Tregubov 1957/ Marinček et al. 1993). Jedna je pokusna ploha smještena na 750 m n. v. u jelovoj šumi s rebračom (*Blechno-Abietetum* Horvat /1938/ 1950).

Stabla smo obične jele podijelili u tri stupnja osutosti: I (< 25 %), II (25 – 60 %) i III (> 60 %) osutosti krošnje. Uzorkovanje smo obavili sa po dvanaest

stabala svakoga stupnja osutosti krošanja. Igllice smo uzorkovali iz gornje trećine krošnje (osvijetljeni dio krošnje). Za laboratorijske analize odvojene su ovogodišnje od prošlogodišnjih iglica. Pedološkom smo sondom uzorkovali tlo na dubini od 30 cm. Terenski je dio istraživanja obavljen u kolovozu 2007. godine.

Određena je masa suhih iglica te koncentracija K, Ca i Mg u iglicama. Uzorci biljnoga materijala osušeni su na 105 °C do konstantne mase, te izvagani na vagi točnosti 0,01 g. Za analize K, Ca i Mg (AOAC 1996) usitnjeni uzorci spaljeni su mokrim postupkom koncentriranom sumpornom kiselinom (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) uz dodatak katalizatora, perklorne kiseline (HClO<sub>4</sub>), te je zatim koncentracija pojedinih elemenata određena na atomskom spektrofotometru (PE 3110). Od kemijske analize tla određena je reakcija tla, količina fosfora (P) i kalija (K) u tlu.

Priprema uzoraka za analizu makroelemenata obavljena je prema Pedološkomu praktikumu (Škorić 1986). Sadržaj fiziološki aktivnoga fosfora i biljkama pristupačnoga kalija određeni su po metodi AL (Egner i Riehm-Domingo 1960). Fosfor je određen spektrofotometrijski metodom molibdat-plavo na UV/VIS spektrofotometru PE Lambda 1A, a kalij izravno iz filtrata na plamenom fotometru Eppendorf.

Analize su obavljene u laboratoriju Hrvatskoga šumarskoga instituta u Jastrebarskom. Klimatski podaci obrađeni su u programu KlimaSoft 2.0., a podaci o reljefnim čimbenicima u programu Arc View GIS 8.2. Statistička obrada podataka (deskriptivna statistika i linearna korelacija) provedena je u statističkom programu Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2003).

#### 4. Područje istraživanja – *Research area*

Istraživanja su provedena u gorskoj Hrvatskoj, u arealu bukovo-jelovih i jelovih šuma, u Gorskom kotaru. Istraživanjima su obuhvaćene sastojine narušene stabilnosti i strukture, na rubu areala obične jele prema toplijem području, tj. gospodarska jedinica Jelenje Velo Šumarije Rijeka, te gospodarske jedinice Brloško i Kobiljak-Bitoraj Šumarije Fužine.

Također, istraživanjima je obuhvaćeno i optimalno područje pridolaska obične jele, tj. središnji dio Gorskoga kotara, gospodarske jedinice Ravna Gora i Višnjevica Šumarije Ravna Gora. To su stabilne sastojine dobrih strukturnih karakteristika.

Prema Köppenovoj klasifikaciji Gorski kotar ubraja se u klimu tipa Cfsbx. To je umjereno topla kišna klima, bez sušnoga razdoblja. Prosječna godišnja temperatura zraka za područje istraživanja iznosi 7,2 °C, a prosječne količine oborine iznose oko 2000 mm (Seletković 2001).

Matični supstrat čine vapnenci, dolomiti i pješčenjaci različite starosti, a od tala prevladavaju crnica, smeđa i ilimerizirana tla, rendzine, distrična smeđa tla i podzoli. Reljef područja istraživanja vrlo je nepravilan i rastresit. Isprekidan je glavicama, jarcima, uvalama i stijenama. Sve se gospodarske jedinice nalaze na visokom kršu.

#### 5. Rezultati istraživanja – *Results of research*

Prema rezultatima prikazanim u tablici 1 u razdoblju od 1995. do 2007. godine na rubu areala obične jele, tj. na području G.J. Jelenje Velo, Brloško i Kobiljak-Bitoraj, odumiranje je stabala zabilježeno na 687 lokaliteta (odjela/odsjeka), a u sastojinama u unutrašnjosti areala na ukupno 342 lokaliteta (odjela/odsjeka).

Prosječni godišnji intenzitet odumiranja stabala obične jele za sastojine na rubu areala iznosi 18,3 m<sup>3</sup>/ha ili 9,2 % u odnosu na drvenu zalihu obične jele, a u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara 6,2 m<sup>3</sup>/ha ili 4,1 %. Maksimalni godišnji intenzitet odumiranja u sastojinama na rubu areala iznosi 113,0 m<sup>3</sup>/ha, a u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara 55,4 m<sup>3</sup>/ha.

U gospodarskim jedinicama na rubu areala prema strukturnim čimbenicima odumiranje je zabilježeno u sastojinama s prosječnom drvnom zalihom od 236,3 m<sup>3</sup>/ha. Raspon drvene zalihe sastojina u kojima je zabilježeno odumiranje kreće se od 0,10 m<sup>3</sup>/ha pa do čak 618,7 m<sup>3</sup>/ha. Sastojine imaju prosječno 122 stabla po hektaru. Broj stabala u sastojinama u kojima je zabilježeno odumiranje kreće se od samo 1 stabla do 375 stabala po hektaru.

Drvena zalih sastojina u kojima je zabilježeno odumiranje stabala u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara iznosi prosječno 192,0 m<sup>3</sup>/ha. Raspon je drvene zalihe manji nego kod sastojina na rubu areala i iznosi od 11,1 do 427,5 m<sup>3</sup>/ha. Prema broju stabala sastojine imaju prosječno 163 stabla po hektaru. Raspon broja stabala po hektaru mnogo je veći nego u sastojina na rubu areala i iznosi od 33 do 1183 stabla po hektaru.

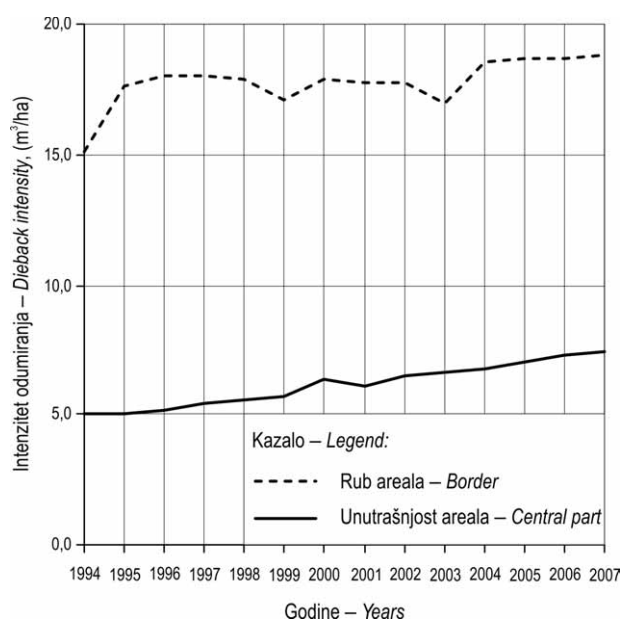
Za sastojine na rubu areala u kojima je zabilježeno odumiranje, prosječni godišnji prirast iznosi 2,7 m<sup>3</sup>/ha, a u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara iznosi 3,3 m<sup>3</sup>/ha. U sastojinama u kojima je prisutno odumiranje stabala obične jele, ona odumiru u količini koja je veća od iznosa volumnoga prirasta. Prema rezultatima prikazanim u tablici 1 u sastojinama na rubu areala intenzitet odumiranja (%) kreće se od 0,3 do 100 %, a u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara od 0,1 do 92 % (tablica 1).

**Tablica 1.** Deskriptivna statistika strukturnih čimbenika, prosječnoga godišnjega intenziteta odumiranja ( $\text{m}^3/\text{ha}$  i %) stabala obične jele za razdoblje od 1995. do 2007. na području istraživanja u Gorskom kotaru

**Table 1** Descriptive statistics of structural factors, average annual dieback intensity ( $\text{m}^3/\text{ha}$  and %) and silver fir dieback intensity in the period 1995-2007 in the research area of Gorski Kotar

Deskriptivna statistika Descriptive statistics	Intenzitet odumiranja Dieback intensity $\text{m}^3/\text{ha}$	Drvena zaliha Growing stock $\text{m}^3/\text{ha}$	Broj stabala Number of trees N/ha	Godišnji prirast Annual increment $\text{m}^3/\text{ha}$	Intenzitet odumiranja Dieback intensity %
N = 687	Sastojine na rubu areala Forest stands at the border of natural range				
Aritmetička sredina Mean	18,3	236,3	122	2,7	9,2
Najmanje vrijednosti Minimum	0,2	0,10	1	0,0	0,3
Najveće vrijednosti Maximum	113,0	618,7	375	20,0	100,0
N = 342	Sastojine u unutrašnjosti areala Forest stands in the central part of natural range				
Aritmetička sredina Mean	6,2	192,0	163	3,3	4,1
Najmanje vrijednosti Minimum	0,2	11,1	33	0,4	0,1
Najveće vrijednosti Maximum	55,4	427,5	1183	7,1	91,6

Prema slici 1 uočavamo postupno povećanje prosječnoga godišnjega intenziteta odumiranja ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) stabala obične jele, kako u sastojinama na rubu areala,



**Slika 1.** Dinamika intenziteta odumiranja stabala obične jele na istraživanom području u Gorskom kotaru

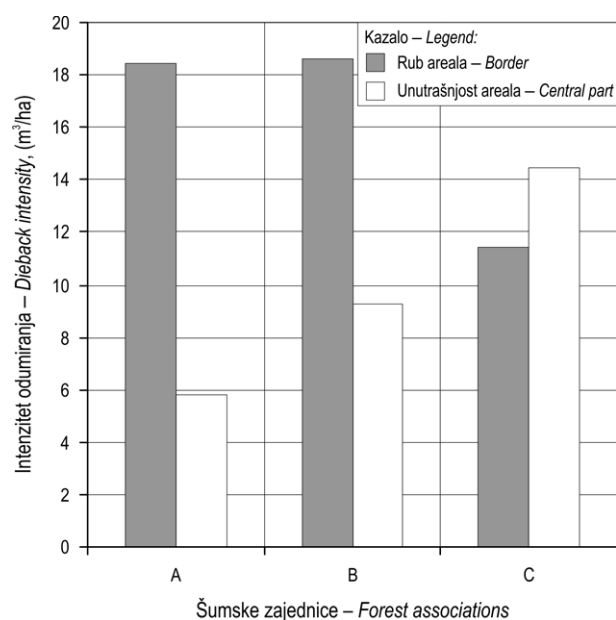
**Fig. 1** Dynamics of silver fir dieback intensity in the research area of Gorski Kotar

tako i u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara. U sastojinama na rubu areala intenzitet se odumiranja ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) povećao poslije 2003. godine koja je bila izrazito sušna.

Intenzitet prosječnoga godišnjega odumiranja stabala obične jele na rubu areala kretao se od 16,9 do 18,8  $\text{m}^3/\text{ha}$ , a u sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara od 5,0 do 7,5  $\text{m}^3/\text{ha}$ . Prosječni godišnji intenzitet odumiranja stabala obične jele ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) višestruko je veći u sastojinama na rubu areala u odnosu na sastojine u unutrašnjosti areala obične jele u Gorskom kotaru (slika 1).

Prema rezultatima prikazanim na slici 2 u sastojinama na rubu areala najveći prosječni godišnji intenzitet odumiranja stabala obične jele zabilježen je u jelovoj šumi s rebračom (18,6  $\text{m}^3/\text{ha}$ ), zatim u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi (18,4  $\text{m}^3/\text{ha}$ ), a najmanje u jelovoj šumi s milavom u iznosu od 11,5  $\text{m}^3/\text{ha}$ .

Intenzitet je odumiranja u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara niži, a najveći je evidentiran u jelovoj šumi s milavom (14,4  $\text{m}^3/\text{ha}$ ), zatim u jelovoj šumi s rebračom (9,2  $\text{m}^3/\text{ha}$ ), a najmanji u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi (5,8  $\text{m}^3/\text{ha}$ ). Prema rezultatima prikazanim u tablici 2 odumiranje stabala obične jele zabilježeno je na svim ekspozicijama, inklinacijama i nadmorskim visinama. Prema ekspozicijama na rubu areala najveći prosječni godišnji intenzitet odumiranja stabala evidentiran je na zapadnoj i jugozapadnoj eks-



**Slika 2.** Prosječni godišnji intenzitet odumiranja stabala obične jele prema šumskim zajednicama na području istraživanja u Gorskom kotaru (A - dinarska bukovo-jelova šuma, B - jelova šuma s rebračom, C - jelova šuma s milavom)

**Fig. 2** Average annual dieback of silver fir by forest associations in the research area of Gorski Kotar (A - Dinaric beech-fir forest, B - Fir forest with hard fern, C - Fir forest with small-reed)

poziciji u iznosu od 25,0 m<sup>3</sup>/ha odnosno 20,0 m<sup>3</sup>/ha, a najmanji na sjeverozapadnoj i istočnoj ekspoziciji (16,5 m<sup>3</sup>/ha). U unutrašnjosti Gorskoga kotara najveći je intenzitet odumiranja na jugozapadnoj ekspoziciji (8,3 m<sup>3</sup>/ha), a najmanji na sjevernoj ekspoziciji (3,8 m<sup>3</sup>/ha). Prema inklinaciji najmanji je intenzitet odumiranja na blažim nagibima terena (0 – 5°), i to na rubu areala u iznosu od 24,8 m<sup>3</sup>/ha, a u unutrašnjosti iznosi 9,9 m<sup>3</sup>/ha. Prema nadmorskim visinama najveći je intenzitet odumiranja na nižim, a najmanji na višim nadmorskim visinama.

Na rubu areala i u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara najveći je intenzitet odumiranja od 700 do 800 m n. v. u iznosima od 20,3 m<sup>3</sup>/ha na rubu areala i 7,8 m<sup>3</sup>/ha u unutrašnjosti areala. Na rubu areala najmanji je intenzitet odumiranja na 1100 do 1200 m n. v. i iznosi 11,3 m<sup>3</sup>/ha, a u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara najmanji je intenzitet odumiranja od 1200 do 1300 m n. v. u iznosu od 4,0 m<sup>3</sup>/ha (tablica 2).

U sastojinama na rubu areala intenzitet odumiranja stabala (m<sup>3</sup>/ha) statistički značajno i pozitivno korelira s ekspozicijom (0,11\*), drvnom zalihom (0,23\*) i brojem stabala obične jele (0,12\*), a negativno s inklinacijom (-0,15\*), nadmorskom visinom (-0,11\*), količinom oborine u vegetacijskom razdoblju (-0,11\*),

**Tablica 2.** Prosječni godišnji intenzitet odumiranja (m<sup>3</sup>/ha) stabala obične jele prema reljefnim čimbenicima na području istraživanja u Gorskom kotaru

**Table 2** Average annual dieback intensity (m<sup>3</sup>/ha) of silver fir by relief factors in the research area of Gorski Kotar

Reljefni čimbenici Relief factors	Varijable Variable	Lokacija Location	
		Rub areala Border	Unutrašnjost areala Central part
		Prosječni intenzitet odumiranja, m <sup>3</sup> /ha Average dieback intensity, m <sup>3</sup> /ha	
Ekspozicija Exposition	N	18,7	3,8
	NE	15,3	13,3
	E	16,5	7,1
	SE	18,1	5,2
	S	18,6	5,6
	SW	20,0	8,3
	W	25,0	6,9
	NW	16,5	8,2
Nagib Slopes	0 – 5°	24,8	9,9
	5 – 15°	18,1	5,7
	15 – 25°	16,2	5,7
	25 – 40°	6,7	8,1
Nadmorska visina Altitude	700 – 800 m	20,3	7,8
	800 – 900 m	17,7	7,7
	900 – 1000 m	18,5	5,8
	1000 – 1100 m	17,6	5,9
	1100 – 1200 m	11,3	4,6
	1200 – 1300 m	13,2	4,0

vodnom bilancom tla (-0,11\*) i prirastom (-0,16\*). U sastojinama na rubu areala korelacija intenziteta odumiranja stabala s reljefnim, klimatskim i strukturnim čimbenicima po jačini je vrlo slaba do slaba, ali statistički značajna.

U sastojinama u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara intenzitet odumiranja stabala obične jele (m<sup>3</sup>/ha) statistički značajno i negativno korelira s nadmorskom visinom (-0,14\*), količinom oborine u vegetacijskom razdoblju (-0,18\*) i vodnom bilancom tla (-0,12\*). Te su korelacije po jačini također vrlo slabe do slabe, ali statistički značajne. Najveći je korelacijski koeficijent -0,18\* utvrđen za količinu oborine u vegetacijskom razdoblju (tablica 3).

Kalcij negativno korelira s vrijednostima vegetacijske temperature zraka (-0,23\*), a pozitivno s vegetacijskom oborinom (0,23\*), što je značajno za razdoblje suše jer je 2007. godina bila »sušna« (prikazi br. 18). Jednaku zakonitost pokazuju i korelacijski

koeficijenti koncentracije Mg s vrijednostima temperature zraka (– 0,48\*) i količinom oborine (0,48\*).

Korelacija je koncentracije Ca i vrijednosti pH tla pozitivna i iznosi 0,34\*, dok korelacija mase suhih iglica i osutosti iznosi – 0,40\*, dakle povećanjem stupnja osutosti krošanja stabla smanjuje se masa suhih iglica. Masa suhih iglica povećava se s dobi iglica, korelacija iznosi 0,23\*. Koncentracija kalija smanjuje se s dobi iglica i koeficijent korelacije iznosi – 0,27\*, dok se koncentracija Ca povećava (0,61\*). Prema literaturnim podacima ta su dva biogena elementa antagonisti, što i ta korelacija potvrđuje (tablica 4).

Koncentracija fosfora i kalija u tlu pozitivno korelira s vrijednostima vegetacijske temperature zraka (0,34\*, 0,29\*), a negativno korelira s vrijednostima vegetacijske oborine (– 0,34\*, – 0,29\*) i nadmorske vi-

**Tablica 3.** Linearni korelacijski koeficijenti odnosa stanišnih i strukturnih čimbenika s intenzitetom odumiranja stabala (m<sup>3</sup>/ha) obične jele na području istraživanja u Gorskom kotaru

**Table 3** Linear correlation coefficients of habitat and structural factors with silver fir dieback intensity (m<sup>3</sup>/ha) in the research area of Gorski kotar

Stanišni i strukturni čimbenici <i>Habitat and structural factors</i>	Lokacija <i>Location</i>	
	Rub areala <i>Border</i>	Unutrašnjost areala <i>Central part</i>
	Intenzitet odumiranja, m <sup>3</sup> /ha <i>Dieback intensity, m<sup>3</sup>/ha</i>	
Ekspozicija, ° <i>Exposition, °</i>	0,11*	0,00
Nagib, ° <i>Slopes, °</i>	-0,15*	-0,10
Nadmorska visina, m <i>Altitude, m</i>	-0,11*	-0,14*
Veg. temperatura, °C <i>Veg. temperature, °C</i>	0,01	0,10
Veg. oborina, mm <i>Veg. precipitation, mm</i>	-0,11*	-0,18*
Veg. PET, mm <i>Veg. PET, mm</i>	-0,01	0,01
Vodna bilanca tla, mm <i>Water balance, mm</i>	-0,11*	-0,12*
Drvena zaliha, m <sup>3</sup> /ha <i>Growing stock, m<sup>3</sup>/ha</i>	0,23*	0,10
Broj stabala, N/ha <i>Number of trees, N/ha</i>	0,12*	-0,04
Prirast, m <sup>3</sup> /ha <i>Increment, m<sup>3</sup>/ha</i>	-0,16*	-0,02

\* signifikantno na razini  $p < 0,05$   
*significant at  $p < 0,05$*

**Tablica 4.** Linearni korelacijski koeficijenti biogenih elemenata i mase suhih iglica sa stanišnim čimbenicima, osutosti i dobi iglica obične jele na području istraživanja u Gorskom kotaru

**Table 4** Linear correlation coefficients of essential mineral nutritive elements and dry needle mass with habitat factors, defoliation and needle age of silver fir in the research area of Gorski Kotar

Varijable <i>Variable</i>	Masa suhih iglica <i>Dried needle weight</i>	Biogeni elementi u iglicama, N = 102 <i>Mineral nutritive elements in needles, N = 102</i>		
		MSU	K	Ca
Veg. temperatura <i>Veg. temperature</i>	-0,11	-0,09	-0,23*	-0,48*
Veg. oborina <i>Veg. precipitation</i>	0,11	0,09	0,23*	0,48*
Nadm. visina <i>Altitude</i>	-0,00	0,15	0,05	0,01
pH H <sub>2</sub> O <i>pH H<sub>2</sub>O</i>	0,06	-0,16	0,34*	0,01
Osutost <i>Defoliation</i>	-0,40*	0,01	-0,17	-0,11
Dob iglica <i>Needle age</i>	0,23*	-0,27*	0,61*	0,03

\* signifikantno na razini  $p < 0,05$   
*significant at  $p < 0,05$*

sine (– 0,52\*, – 0,50\*). Koncentracija je fosfora i kalija u tlu s vrijednostima pH tla pozitivna i statistički značajna (tablica 5).

**Tablica 5.** Linearni korelacijski koeficijenti biogenih elemenata tla i stanišnih čimbenika u sastojinama obične jele na području istraživanja u Gorskom kotaru

**Table 5** Linear correlation coefficients of essential mineral nutritive elements and habitat factors in silver fir forest stands in the research area of Gorski Kotar

Stanišni čimbenici <i>Habitat factors</i>	Biogeni elementi tla, N = 102 <i>Mineral nutritive elements in soil, N = 102</i>	
	Fosfor, P <i>Phosphorus</i>	Kalij, K <i>Potassium</i>
Veg. temperatura <i>Veg. temperature</i>	0,34*	0,29*
Veg. oborina <i>Veg. precipitation</i>	-0,34*	-0,29*
Nadm. visina <i>Altitude</i>	-0,52*	-0,50*
pH H <sub>2</sub> O <i>pH H<sub>2</sub>O</i>	0,30*	0,50*

\* signifikantno na razini  $p < 0,05$   
*significant at  $p < 0,05$*

**Tablica 6.** Srednje vrijednosti mase suhих iglica i biogenih elemenata u iglicama obične jele različitih stupnjeva osutosti na području istraživanja u Gorskom kotaru

**Table 6** Average values of dry needle mass and essential mineral nutritive elements in needles of silver fir at different defoliation levels in the research area of Gorski Kotar

Osutost, % Defoliation, %	Masa suhих iglica, g Dried needle weight, g	Biogeni elementi, mg/g Mineral nutritive elements, mg/g		
	MSU	K	Ca	Mg
I (< 25 %)	0,54	8,40	15,38	1,47
II (25 - 60 %)	0,51	8,26	15,10	1,45
III (> 60 %)	0,45	7,28	13,34	1,25
Prosjeck - Average	0,50	7,94	14,70	1,40

**Tablica 7.** Rezultati Kolmogorov-Smirnova testa usporedbe kemijskih analiza za ovogodišnje i prošlogodišnje iglice obične jele na području istraživanja u Gorskom kotaru

**Table 7** Results of Kolmogor-Smirn 's test comparing chemical analysis of the current year and last year silver fir needles in the research area of Gorski Kotar

Varijable Variable	Aritmetička sredina Ovogodišnje iglice Mean Current year needles	Aritmetička sredina Prošlogodišnje iglice Mean Last year needles	Maks. neg. Max Neg	Maks. poz. Max Pos	p-razina p-level
MSU	0,48	0,52	-0,27	0,00	< 0,05*
K	8,49	7,39	-0,01	0,25	< 0,10
Ca	12,34	17,06	-0,66	0,00	< 0,001*
Mg	1,38	1,41	-0,13	0,11	> 0,10

\* signifikantno na razini  $p < 0,05$   
significant at  $p < 0,05$

Masa suhих iglica (g) smanjuje se s povećanjem stupnja osutosti krošanja stabla. Najveća je u stupnju osutosti I (< 25 %) i iznosi 0,54 g, a najmanja u stupnju osutosti III (> 60 %) i iznosi 0,45 g. Koncentracija je kalija najveća u iglicama stabala najmanjega stupnja osutosti I (< 25 %) i iznosi 8,4 mg/g, a najmanja je u stupnju osutosti III (> 60 %) i iznosi 7,28 mg/g. Koncentracija je magnezija također najveća u najmanjem stupnju osutosti i iznosi 1,47 mg/g, a najmanja je u III stupnju osutosti i iznosi 1,25 mg/g (tablica 6).

Usporedbom mase suhих iglica te koncentracije kalija, kalcija i magnezija u ovogodišnjim i prošlogodišnjim iglicama obične jele dobivene su statistički značajne razlike za masu suhих iglica i za koncentraciju kalcija. Masa suhих ovogodišnjih iglica iznosi 0,48 g, a prošlogodišnjih 0,52 g. Koncentracija kalcija u ovogodišnjim iglicama iznosi 12,34 mg/g, a u prošlogodišnjim 17,06 mg/g (tablica 7).

## 6. Rasprava – Discussion

U Gorskom kotaru volumen odumrlih stabala obične jele veći je od vrijednosti godišnjega volum-

noga prirasta. Opadanje prirasta, fiziološko slabljenje i odumiranje dominantnih stabala u šumskim ekosustavima obične jele samo su neke od promjena koje su uočili brojni šumarski istraživači (Matić i dr. 2001). Na sjevernom je Velebitu utvrđen jednak volumen odumrlih stabala obične jele i vrijednosti godišnjega volumnoga prirasta (Tikvić i dr. 2008).

U sastojinama u kojima je zabilježeno odumiranje stabala obične jele u Gorskom kotaru intenzitet odumiranja stabala ( $m^3/ha$ ) veći je od volumnoga prirasta sastojina. U sastojinama na rubu areala prosječni godišnji intenzitet odumiranja ( $m^3/ha$ ) šest je puta veći od prosječnoga godišnjega volumnoga prirasta, dok je u sastojinama u unutrašnjosti Gorskoga kotara intenzitet odumiranja dva puta veći od prosječnoga godišnjega volumnoga prirasta.

Prosječni godišnji intenzitet odumiranja stabala jele na sjevernom Velebitu u razdoblju od 1998. do 2006. kretao se od 0,4  $m^3/ha$  do 9,1  $m^3/ha$  (Tikvić i dr. 2008). U sastojinama u Gorskom kotaru ustanovili smo veće odumiranje stabala. Prosječni godišnji intenzitet odumiranja stabala kretao se od 6,2  $m^3/ha$  u unutrašnjosti do 18,3  $m^3/ha$  na rubu areala.



Između odumrloga drvnoga volumena obične jele ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) i drvne zalihe obične jele ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) sastojina na rubu areala utvrđena je pozitivna i statistički značajna korelacija ( $r = 0,23$ ). Vrijednosti drvne zalihe obične jele sastojina na rubu areala kreću se do  $618,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ , što je dvostruko više od normale za preborne šume. Šume su na području Brloškoga nestalne i poremećene preborne strukture, što je prema Matiću i dr. (1996) razlogom niza promjena kao što je izostalo prirodno pomlađivanje, povećanje drvne zalihe u odnosu na normalu, starenje i fiziološko slabljenje te odumiranje dominantnih stabala. Za razliku od sastojina na rubu areala, na području Ravne Gore i Višnjovice ne postoji korelacija između odumrloga drvnoga volumena obične jele ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) i drvne zalihe obične jele ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ). Vrijednosti drvne zalihe obične jele kreću se do  $427,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ , što odgovara propisanim normalama za prebornu šumu na tom području.

Prema podacima šumarija Fužine i Rijeka postotni udio sanitarnih sječa ili odumrloga drvnoga volumena obične jele prema propisanom etatu na području gospodarskih jedinica Brloško, Kobiljak-Bitoraj i Jelenje Velo (na rubu areala) iznosi i do 100 %. Nasuprot tomu postotni udio sanitarnih sječa prema propisanom etatu na području gospodarskih jedinica Ravna Gora i Višnjovice (unutrašnjost areala Gorskoga kotara) iznosi do 15 %.

Prema podacima Šumarije Krasno postotni udio sanitarnih sječa ili odumrloga drvnoga volumena obične jele prema propisanom etatu na sjevernom Velebitu iznosi do 40 % (Tikvić i dr. 2008). Intenzivne sanitarne sječe rezultiraju promjenama u dobroj strukturi i u omjeru smjese pojedinih vrsta drveća (Stanovsky 2002).

Prema Oszlányiju (1997) visok postotak sanitarne sječe (oko 60 % od godišnjega propisanoga etata) pokazatelj je narušenih ekoloških prilika i zdravstvenoga stanja šumskih ekosustava.

Geološka podloga i vrsta tla nisu bili čimbenici koji su utjecali na odumiranje stabala obične jele u Bosni i Hercegovini. Odumiranje je zabilježeno na vapnenačko-dolomitnoj i silikatnoj podlozi, na kiselim i bazičnim tlima (Usčupulić i dr. 2007). Ti su rezultati u skladu s rezultatima naših istraživanja. Na području Gorskoga kotara odumiranje je stabala zabilježeno na svim tipovima geološke podloge i šumskih tala te u svim šumskim zajednicama u kojima se javlja obična jela. Na rubu areala najveći je intenzitet odumiranja zabilježen u jelovoj šumi s rebračom, a u unutrašnjost areala Gorskoga kotara u jelovoj šumi s milavom.

Prema Usčupuliću i dr. (2007) nagib terena i dubina tla nisu utjecali na proces odumiranja stabala, ali su na nekim lokalitetima bili značajni za intenzitet odumiranja. Na strmim i plitkim tlima Osječnice u

Bosni i Hercegovini, na primjer, odumiranje je bilo intenzivnije, što se može dovesti u vezu s brzim otjecanjem vode i s vodo-zračnim kapacitetom tla (Usčupulić i dr. 2007). U Gorskome smo kotaru utvrdili odumiranje stabala obične jele na svim nagibima, ekspozicijama i nadmorskim visinama.

Često je naglašavano da su sastojine na većim nadmorskim visinama izložene većemu stresu i intenzivnijemu odumiranju (oštećenije) u odnosu na sastojine na nižim nadmorskim visinama (Skre i dr. 1990, Schmieden i Wild 1995). Ti se rezultati ne slažu s rezultatima Tikvića i dr. (2008), ali ni s našim rezultatima istraživanja odumiranja stabala. Naime, prema korelacijskoj analizi odnosa reljefnih i strukturnih čimbenika na području istraživanja povećanjem nadmorske visine i nagiba terena smanjuje se drvena zaliha obične jele, tj. na višim su nadmorskim visinama sastojine lošijega boniteta i manje drvne zalihe po jedinici površine (Ugarković 2009). Utvrdili smo pozitivnu korelaciju između intenziteta odumiranja stabala ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) i drvnoga volumena sastojina ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) tako da je intenzitet odumiranja veći u sastojinama s većim drvnim volumenom obične jele. Iz toga razloga na višim nadmorskim visinama utvrdili smo i manji intenzitet odumiranja stabala. Na nižim nadmorskim visinama u sastojinama s većom drvnom zalihom po jedinici površine utvrdili smo veći intenzitet odumiranja stabala obične jele u odnosu na više nadmorske visine. Prema našim istraživanjima najveće su vrijednosti volumena odumrlih stabala ( $\text{m}^3$  i  $\text{m}^3/\text{ha}$ ) na najnižim nadmorskim visinama i blažim nagibima. Do takvih su rezultata došli također Tikvić i dr. (2008). Upravo su i veće klimatske promjene, kao i veći broj sušnih godina zabilježene na meteorološkim postajama na nižim nadmorskim visinama nego na višim nadmorskim visinama (Tikvić i dr. 2008). Prema regresijskim modelima (Gajić-Čapka i dr. 2003, Zaninović i dr. 2004) na nižim su nadmorskim visinama i manje vrijednosti količina oborine, a veće vrijednosti temperature zraka. S obzirom na to da na višim nadmorskim visinama padne i veća količina oborine, znači da su sastojine manje podložne stresu za vrijeme sušnih razdoblja.

U posljednjem stoljeću rast drveća na većim nadmorskim visinama u SAD-u se povećao kako je visina snježnoga pokrivača opadala. U isto je vrijeme rast šumskoga drveća na nižim nadmorskim visinama bio smanjen zbog ograničenosti dostupne vode zajedno s povećanom evaporacijom (Peterson i Peterson 2001, Peterson i dr. 2002). Na nižim nadmorskim visinama zbog većih vrijednosti temperature zraka i manjih količina oborine povećana je i evaporacija iz tla. Na takvim je nadmorskim visinama za vrijeme sušnoga razdoblja mala vodna bilanca tla. Thomas i dr. (2002) istraživali su odnos ekoloških čim-

benika i odumiranja obične jele na području Voga u francuskim Alpama. Autori su utvrdili pozitivnu korelaciju između količina oborine i nadmorske visine te smatraju da je to pogodno za razvoj šumskoga drveća na višim nadmorskim visinama.

U sastojinama na rubu areala najmanji je volumen odumrlih stabala ( $m^3/ha$ ) na sjevernim ekspozicijama, a najveći na zapadnim ekspozicijama, zatim na raznim varijantama južnih ekspozicija te u odsjecima s raznim ekspozicijama. To se i moglo očekivati s obzirom na to da su južnije i zapadne strane same po sebi toplije i izloženije nepovoljnim zračnim strujanjima sa zapadne Europe. Porast srednje godišnje i vegetacijske temperature zraka nepovoljno djeluje na vrste drveća uske ekološke valencije kao što je obična jela.

U jelovim sastojinama u unutrašnjosti areala najmanji je volumen odumrlih stabala ( $m^3/ha$ ) na sjevernoj ekspoziciji, a najveći na sjeveroistočnoj ekspoziciji. Istražujući odumiranje stabala obične jele na sjevernom Velebitu, Tikvić i dr. (2008) utvrdili su da je najmanji volumen odumrlih stabala na sjevernim ekspozicijama, a prednjače razne varijante južnih ekspozicija te odsjeci s raznim ekspozicijama.

Smanjenjem vegetacijskih količina oborine statistički se značajno povećava količina odumrloga drvnoga volumena stabala obične jele. Ti su rezultati u skladu i s rezultatima drugih autora (Markalas 1992, Thomas i dr. 2002, Tikvić i dr. 2008).

Prema istraživanjima Tikvića i dr. (2008) na Sjevernom Velebitu utvrđena je srednja, pozitivna i statistički značajna korelacija između odumrloga drvnoga volumena ( $m^3/ha$ ) te drvene zalihe sastojina, srednje godišnje i vegetacijske temperature zraka ( $^{\circ}C$ ). Između odumrloga drvnoga volumena obične jele ( $m^3/ha$ ), te godišnjih i vegetacijskih količina oborine (mm) utvrđena je srednja, negativna i statistički značajna korelacija.

Prema Šafaru (1965) na odumiranje stabala obične jele na Maclju utječe više čimbenika, od kojih jedan može biti dominantan na jednom području, a neki drugi čimbenik na nekom drugom području. Usporedimo li primjerice uzroke odumiranja stabala obične jele u Bosni i Hercegovini (Usčupulić i dr. 2007), Sloveniji (Bigler i dr. 2004) te ostalim zemljama u kojima se pojavljuje obična jela (Thomas i dr. 2002) s odumiranjem obične jele u Republici Hrvatskoj (Bezjak 1991, Matić i dr. 1998, Glavač i dr. 1985, Prpić i dr. 2001, Tikvić i dr. 2008), uočavamo podudaranje s rezultatima naših istraživanja. Čak i unutar areala obične jele u jednoj državi postoje razlike u čimbenicima koji utječu na odumiranje stabala usporedimo li, na primjer, samo čimbenike koji utječu na odumiranje obične jele na rubu areala i u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara.

Strukturni i reljefni čimbenici imaju značajniji utjecaj na odumiranje stabala na rubu areala u odnosu na odumiranje stabala u unutrašnjosti Gorskoga kotara. Sastojine su na rubu areala nepravilne preborne strukture (Matić i dr. 1998, Ugarković 2009) te nepovoljnijega položaja prema izvorima onečišćenja s područja zapadne Europe. Iz tih razloga strukturni i reljefni čimbenici imaju jači utjecaj na odumiranje stabala na rubu areala. Klimatski čimbenici, osobito količina oborine u vegetacijskom razdoblju te vodna bilanca tla, imaju podjednak utjecaj na odumiranje stabala na obadvije lokacije.

Koncentracija kalcija statistički značajno i pozitivno korelira s vrijednošću pH tla, što znači da je veća u bukovo-jelovoj šumi, a manja u jelovoj šumi s rebračom.

Kalcij negativno i statistički značajno korelira s vrijednostima temperature zraka, a pozitivno s količinom oborine u vegetacijskom razdoblju. Povećanjem temperature zraka i smanjenjem količina oborine smanjuje se i koncentracija kalcija u iglicama obične jele, što je značajno za razdoblje sušnih razdoblja i povećanih vrijednosti temperature zraka koje smo utvrdili na području istraživanja. Te su korelacije statistički značajne i po karakteru vrlo slabe. Za koncentraciju kalija u iglicama i masu suhih iglica nismo dobili statistički značajnu korelaciju s klimatskim čimbenicima. Magnezij također negativno korelira s vrijednostima vegetacijske temperature zraka, a pozitivno s vrijednosti vegetacijskih količina oborine. Koncentracija fosfora i kalija u tlu pozitivno korelira s vrijednostima vegetacijske temperature zraka, a negativno korelira s vrijednostima vegetacijskih količina oborine. Te su korelacije statistički značajne i po jačini slabe do srednje.

Prema istraživanjima Thomasa i dr. (2002) nadmorska visina negativno korelira s vrijednostima Ca, Mg i K u tlu. Prema rezultatima naših istraživanja nadmorska visina također negativno i po jačini jako korelira s vrijednostima fosfora i kalija u tlu.

Podjela pH temeljena na pufernim rasponima danas je najprihvatljivija s aspekta osjetljivosti tla prema acidifikaciji. Jedan od glavnih čimbenika dostupnosti hraniva za biljke je reakcija tla. O reakciji tla ovisi topivost mnogih spojeva pa prema tomu i pristupačnost biogenih elemenata u tlu (Ulrich 1991). Tako, primjerice, povećana kiselost utječe na biljke aktiviranjem iona aluminijskih i željeza koji u većoj koncentraciji djeluju toksično. Isto tako povećana kiselost smanjuje pristupačnosti nekih biogenih elemenata. Naime, vodikov ion u kiselim tlima značajan je antagonist u odnosu na druge katione (Baule i Fricker 1978). Koncentracija fosfora i kalija u tlu statistički značajno i pozitivno korelira s vrijednostima pH tla te je prema jačini srednja do jaka.

Masa suhих iglica, ali i koncentracija kalija, kalcija i magnezija u iglicama opada s povećanjem stupnja osutosti stabla. Masa suhих iglica i koncentracija kalcija statistički je značajno veća u prošlogodišnjim iglicama nego u ovogodišnjim iglicama. Godina 2007. (ovogodišnje iglice) prema izvještajima Državnoga hidrometeorološkoga zavoda bila je sušna godina.

## 7. Zaključci – Conclusion

Intenzitet odumiranja stabala obične jele u sastojinama na rubu areala veći je od intenziteta odumiranja stabala u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara. U sastojinama na rubu areala u kojima je evidentirano odumiranje, prosječni je godišnji intenzitet odumiranja šest puta veći od iznosa godišnjega volumnoga prirasta, dok je u sastojinama u unutrašnjosti areala intenzitet odumiranja dva puta veći od iznosa godišnjega volumnoga prirasta sastojina.

Odumiranje je stabala zabilježeno na svim ekspozicijama, nagibima i nadmorskim visinama te u svim šumskim zajednicama. U sastojinama na rubu areala najveći je intenzitet odumiranja stabala ( $m^3/ha$ ) na zapadnoj, a najmanji na sjeveroistočnoj ekspoziciji. U sastojinama obične jele u unutrašnjosti areala najveći je intenzitet odumiranja na sjeveroistočnoj ekspoziciji, a najmanji na sjevernoj ekspoziciji. S obzirom na inklinaciju i nadmorsku visinu najveći je intenzitet odumiranja zabilježen na blagim nagibima terena i nižim nadmorskim visinama.

U sastojinama na rubu areala intenzitet odumiranja stabala obične jele ( $m^3/ha$ ) statistički značajno i pozitivno korelira s ekspozicijom, drvnom zalihom i brojem stabala, a negativno s inklinacijom, nadmorskom visinom, količinom oborine, vodnom bilancom tla i prirastom.

U sastojinama u unutrašnjost areala Gorskoga kotara intenzitet odumiranja stabala obične jele statistički značajno i negativno korelira s nadmorskom visinom, količinom oborine te vodnom bilancom tla.

Na rubu areala, reljefni, klimatski i strukturni čimbenici imaju dominantan utjecaj na odumiranje stabala, dok u unutrašnjosti areala Gorskoga kotara dominantan utjecaj na odumiranje stabala imaju klimatski čimbenici.

Kalcij i magnezij u iglicama negativno i statistički značajno koreliraju s vrijednostima temperature zraka, a pozitivno s količinom oborine u vegetacijskom razdoblju, što je značajno za razdoblje suše i povećanih vrijednosti temperature zraka na području istraživanja.

Koncentracija fosfora i kalija u tlu negativno korelira s nadmorskom visinom, a pozitivno s vrijednostima pH tla. Ta je korelacija jaka. Povećanjem

osutosti krošanja stabala smanjuje se masa suhих iglica te koncentracija K, Ca i Mg. Kalcij statistički značajno i pozitivno korelira s vrijednostima pH tla.

Suša 2007. godine uzrokovala je manju koncentraciju magnezija i kalcija u iglicama obične jele te manju masu suhих iglica.

## 8. Literatura – References

- 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. Šumarski list, 133 (3–4): 135–144.
- AOAC, 1996: Official methods of analysis of AOAC International, Association of Official Analytic Chemists International, Arlington, VA.
- Baule, H., C. Fricker, 1978: Đubrenje šumskog drveća. Dokumentacija za tehniku i tehnologiju u šumarstvu, br. 78, Jugoslavenski poljoprivredno šumarski centar, Beograd.
- Becker, M., G. Landman, G. Levy, 1989: Silver fir decline in the Vosges mountains (France): role of climate and silviculture. *Water, Air and Soil Pollution*, 48 (1–2): 77–86.
- Bezak, K., V. Krejči, B. Vrbek, 1991: Propadanje jele praćeno promjenama vitalnosti i prirasta šuma bukve i jele od 1969–1990 godine. *Radovi*, 26 (1): 115–128.
- Bigler, C., J. Gričar, H. Bugmann, K. Čufar, 2004: Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management*, 199 (2–3): 183–190.
- Bolan, N. S., D. Curtin, D. C. Adriano, 2005: Acidity. U: D. Hillel (ur.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Volume 1, Elsevier A. P. 11–17.
- Busing, R. T., L. H. Liegel, V. J. Labau, 1996: Overstory mortality as and indicator of forest health in California. *Environmental Monitoring and Assessment*, 42 (3): 285–295.
- Capecki, Z., 1981: The rules of prediction of vulnerability and protection of spruce forests against insect pests following after damage caused by wind and rime. *Prace Inst Bad Lecen*, 584: 3–44.
- DHMZ, 2008: Praćenje i ocjena klime u 2007. godini. *Prikazi*, br. 18, 72 str.
- Dobbertin, M., P. Brang, 2001: Crown defoliation improves tree mortality models. *Forest Ecology and Management*, 141 (3): 271–284.
- Eckmüllner, O., H. Sterba, 2000: Crown condition, needle mass and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). *Canadian Journal of Forest Research*, 30 (10): 1646–1654.
- Egnér, H., H. Riehm, W. R. Domingo, 1960: Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.*, 26: 199–215.

- 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.
- Elling, W., 1993: Immissionen im Ursachenkomplex von Tannenschädigung und Tannensterben. *Allg. Forst- u. Jagdtz.*, 48 (2): 87–95.
- Franklin, J. F., H. H. Shugart, M. E. Harmon, 1987: Tree death as an ecological process. *BioScience*, 37 (8): 550–556.
- Fromard, F., J. Dagnac, T. Gauquelin, V. Cheret, 1991: Results of research into decay of the fir (*Abies alba* Mill.) in the Pyrenees, New Data about Nutritional and Physiological Disturbances. U: Acid Deposition. Origins, Impacts and Abatement Strategies, Springer-Verlag, Berlin, str. 109–122.
- Gajić-Čapka, M., M. Perčec Tadić, M. Patarčić, 2003: Digitalna godišnja oborinska karta Hrvatske. *Hrvatski meteorološki časopis*, 38: 21–33.
- Glavač, V., H. Koenies, B. Prpić, 1985: O unosu zračnih polutanata u bukove i bukovo-jelove šume Dinarskog gorja sjeverozapadne Jugoslavije. *Šumarski list*, 109 (9–10): 429–447.
- Hallenbarter, D., W. Landolt, J. Bucher, 1999: Nutrition and Vitality: Phenological investigation in forest under different fertiliser treatments. *Gozd Martuljek: COST E6, Eurosilva forest treephysiology research workshop Root – Soil Interactions in Trees*.
- Klepac, D., 1972: Istraživanja o utjecaju defolijatora na prirast jelovih šuma. *Šumarski list*, 96 (1–2): 40–62.
- Krause, G. H. M., U. Arndt, C. J. Brandt, J. Bucher, G. Kenk, E. Matzner, 1986: Forest decline in Europe: Development and possible causes. *Water, Air and Soil Pollution*, 31: 647–668.
- Krehan, H., 1989: Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme. *FBVA Berichte*, 39 str.
- Macias, M., L. Andreu, O. Bosch, J. J. Camarero, E. Gutierrez, 2006: Increasing aridity is enhancing silver fir (*Abies alba* Mill.) water stress in its south-western distribution limit. *Climatic Change*, 79 (3–4): 289–313.
- Markalas, S., 1992: Site and stand factors related to mortality rate in a fir forest after a combined incidence of drought and insect attack. *Forest Ecology and Management*, 47 (1–4): 367–374.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 1996: Neke karakteristike i problemi prebornih šuma obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj. *Šumarski list*, 120 (3–4): 91–99.
- Matić, S., M. Oršanić, I. Anić, 1998: Utjecaj klimatskih promjena na strukturu i razvoj šumskih ekosustava. Prilog godba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama, *Zbornik, HAZU, Zagreb*, str. 239–250.
- Matić, S., I. Anić, M. Oršanić, 2001: Uzgojni postupci u prebornim šumama. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i »Hrvatske šume« p.o., Zagreb*, str. 407–443.
- Matić, S., I. Anić, M. Oršanić, 2006: Aktualni problemi gospodarenja običnom jelom (*Abies alba* Mill.) u Republici Hrvatskoj. *Glas. šum. pokuse, pos. izd.*, 5: 7–27.
- Mayer, H., M. Neumann, 1981: Struktureller und entwicklungs-dynamischer Vergleich der Fichten – Tannen- Buchen – Urwälder Rothwald/Niederösterreich und Čorkova Uvala/Kroatien. *Forstw. Cbl.*, 100: 111–132.
- Nilsson, L. O., R. F. Huettl, U. T. Johansson, H. Jochheim, 1995: Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems – present status and future research directions. *Plant Soil*, 168–169: 5–13.
- Oszlanyi, J., 1997: Forest health and environmental pollution in Slovakia. *Environmental Pollution*, 98 (3): 389–392.
- Peterson, D. W., D. L. Peterson, 2001: Mountain hemlock growth trends to climatic variability at annual and decadal time scales. *Ecology*, 82: 3330–3345.
- Peterson, D. W., Peterson, D. L., Ettl, G. J., 2002: Growth responses of subalpine fir to climatic variability in the Pacific Northwest. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(9): 1503–1517.
- 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 Pollution*, 137 (3): 596–602.
- Prpić, B., 1975: Zakorijenjivanje i hidratacija obične jele. *Radovi*, 23: 41–53.
- Prpić, B., Z. Seletković, 2001: Ekološka konstitucija obične jele. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i »Hrvatske šume« p.o., Zagreb*, str. 255–276.
- Prpić, B., Z. Seletković, P. Jurjević, 2001: Sušenje jele i promjena »kemijske klime«. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i »Hrvatske šume« p.o., Zagreb*, str. 299–308.
- Rozenberger, 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): 431–443.
- Saxe, H., 1993: Triggering and predisposing factors in the »red« decline syndrome of Norway spruce (*Picea abies*). *Trees*, 8: 39–48.
- Schmieden, U., A. Wild, 1995: The contribution of ozone to forest decline. *Physiol. Plant*, 94: 371–378.
- Seletković, Z., 2001: Klima i hidrološke prilike u dinarskim jelovim šumama u Hrvatskoj. U: B. Prpić (ur.), *Obična jela (Abies alba Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti i »Hrvatske šume« p.o., Zagreb*, str. 133–141.
- Siwecki, R., K. Ufnalski, 1998: Review of oak stand decline with special reference to the role of drought in Poland. *European Journal of Forest Pathology*, 28: 99–112.
- Skre, O., L. M. Mortensen, 1990: Effects of ozone on frost resistance, growth and carbohydrate status in Norway spruce seedlings (*Picea abies*). *Aquilo Ser. Bot.*, 29: 51–68.

- Stanovsky, J., 2002: The influence of climatic factors on the health condition of forests in the Silesian Lowland. *Journal of Forest Science*, 48: 451–458.
- StatSoft, Inc. 2003. STATISTICA for Windows. Tulsa: StatSoft, Inc.
- Šafar, J., 1965: Problem sušenja jele i način gospodarenja na Macelj gori. *Šumarski list*, 89 (1–2): 1–16.
- Škorić, A., 1986: Priručnik za pedološka istraživanja. Sveučilište u Zagrebu, 86 str.
- Tecshe, M., 1989: Umweltstreß. U: H. Schmidt-Vogt (ur.), *Die Fichte II/2 – Krankheiten, Schäden, Fichtensterben*, Verl. Paul Parey, Hamburg – Berlin, str. 346–384.
- Thomas, L. A., C. J. Gegout, G. Landmann, E. Dambrine, D. King, 2002: Relation between ecological conditions and fir decline in a sandstone region of the Vosges mountains (northeastern France). *Annales of Forest Science*, 59 (3): 265–273.
- Thornthwaite, C. W., 1948: An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geogr. Rev.*, 38 (1): 55–94.
- Tikvić, I., Z. Seletković, D. Ugarković, Z. Balta, 2006: Procjena propadanja šuma hrasta lužnjaka na temelju indeksa odumiranja stabala. *Glas. šum. pokuse*, pos. izd., 5: 117–127.
- Tikvić, I., Z. Seletković, D. Ugarković, S. Posavec, Ž. Španjol, 2008: Dieback of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) on Northern Velebit (Croatia). *Periodicum Biologorum*, 110 (2): 137–143.
- Turčani, M., W. Grozdki, P. Fleischer, J. Novotny, B. Hrašovec, 2003: Can air pollutin influence spruce bark beetle population in the central European mountains? *Ekologia* (Bratislava), 22: 371–382.
- Ugarković, D., 2009: Utjecaj stanišnih i strukturnih čimbenika na odumiranje obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom kotaru. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 200 str.
- Ulrich, B., M. E. Sumner (ur.), 1991: *Soil Acidity*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 224 str.
- UN-ECE, EC 2003: *The Condition of Forests in Europe*. Federal Research Centre for Forestry and Forests Products, Geneva, Brussels.
- Usčupulić, M., M. Dautbašić, T. Trešić, E. Selman, O. Mujezinović, T. Nišić, B. Jokanović 2007: Bolesti i štetnici obične jele (*Abies alba* Mill.) u Bosni i Hercegovini. Društvo za zaštitu bilja u Bosni i Hercegovini, Sarajevo, 114 str.
- Vanmechelen, L., R. Groenmans, E. Van Rast, 1997: *Forest soil condition in Europe. Results of a Large-Scale Survey*. Forest Soil Co-ordinating Centre, EC-UN/ECE, Brussels, Geneva, 261 str.
- Webster, R., A. Rigling, L. Walthert, 1996: An analysis of crown condition of *Picea*, *Fagus* and *Abies* in relation to environment in Switzerland. *Forestry*, 69 (4): 348–355.
- Zaninović, K., L. Srnec, M. Perčec Tadić, 2004: Digitalna godišnja temperaturna karta Hrvatske. *Hrvatski meteorološki časopis*, 39: 51–58.

---

### Abstract

---

## Correlation of Habitat and Structural Factors with Dieback and Nutrition of Silver Fir (*Abies alba* Mill.) in Gorski Kotar

*Dieback of silver fir in Croatia, especially in the Dinaric part, is associated with complex changeable effects of abiotic and biotic factors. In industrial forests, the volume of dieback trees or volume of trees cut down in salvage cutting is most often used for showing tree dieback intensity, and can be used as an indicator of forest stand health status (Capecki 1981).*

*The aim of this research was to show the correlation of silver fir dieback with habitat and structural factors, calculate the intensity of dieback according to volume, and determine tree dieback dynamics and effects of habitat factors on concentration of essential mineral nutritive elements in needles and soil.*

*The research was carried out in the mountainous part of Croatia, in beech-fir and fir forests of Gorski Kotar. The research included the forest stands of disrupted stability and structure, at the border of the natural range of silver fir towards a warmer area and optimum area of silver fir i.e. central part of Gorski Kotar. Data for wood mass of dieback silver fir trees were collected for the selected management units at the level of all compartments and subcompartments in the management unit. The data were being collected for twelve years (1995–2007). In the researched area, needle sampling from tree crowns was carried out on trees with three different levels of defoliation (<25%, 25–60%, >60%). Dry needle mass was determined as well as concentration of K, Ca and Mg. Soil chemical analysis included soil reaction, and amount of phosphorus (P) and potassium (K) in the soil.*

*The average annual silver fir dieback intensity for forest stands at the border of the natural range was 18.3 m<sup>3</sup>/ha or 9.2% of silver fir growing stock, and in forest stands in the central part of Gorski Kotar it was 6.2 m<sup>3</sup>/ha or 4.1%.*

The maximum annual dieback intensity in forest stands at the border of the natural range was 113.0 m<sup>3</sup>/ha, and in forest stands in the central part of Gorski Kotar it was 55.4 m<sup>3</sup>/ha. For forest stands with recorded dieback, the average annual increment was 2.7 m<sup>3</sup>/ha, and in forest stands in the central part of Gorski Kotar it was 3.3 m<sup>3</sup>/ha. In forest stands with silver fir dieback, dieback intensity was higher than the value of the growing stock (Table 1).

Intensity of the average annual silver fir dieback at the border of the natural range was from 1.6 to 18.8 m<sup>3</sup>/ha, and in forest stands in the central part of Gorski Kotar from 5.0 to 7.5 m<sup>3</sup>/ha (Fig. 1).

In forest stands at the border of the natural range, the highest average annual silver fir dieback intensity was recorded in silver fir forest with hard fern (18.63 m<sup>3</sup>/ha), and the lowest in silver fir forest with small-reed (11.5 m<sup>3</sup>/ha). Dieback intensity in the central part of Gorski Kotar was lower, the highest being in silver fir forest with small-reed (14.4 m<sup>3</sup>/ha), and the lowest in the Dinaric beech-fir forest (5.8 m<sup>3</sup>/ha) (Fig. 2).

In forest stands at the border of the natural range, the highest dieback intensity was recorded at west and southwest exposition, and the lowest at northwest and east exposition. In forest stands in the central part of Gorski Kotar the highest dieback intensity was at southwest, and the lowest at north exposition. In relation to altitude, the most severe dieback intensity was observed at lower, and the lowest at higher altitudes (Table 2).

According to the results shown in Table 3, in forest stands at the border of the natural range, tree dieback intensity significantly and positively correlates with exposition, growing stock (0.23\*) and number of silver fir trees (0.12\*), and negatively with terrain slope (–0.15\*), altitude (–0.11\*), precipitation quantities in vegetation period (–0.11\*), soil water balance (–0.11\*) and increment (–0.16\*). In forest stands in the central part of Gorski Kotar silver fir dieback intensity significantly and negatively correlates with altitude (–0.14\*), precipitation quantities in vegetation period (–0.18\*) and soil water balance (–0.12\*).

Calcium negatively correlates with vegetation air temperatures (–0.23\*), and positively with vegetation precipitations (0.23\*), which is important for drought periods because 2007 was a »drought« year (Review No. 18). The correlation coefficients of Mg concentration show the same trend with air temperatures (–0.48\*) and precipitation quantities (0.48\*).

The correlation of Ca concentration and soil pH value is positive and amounts to 0.34\*, while the correlation of dry needle mass and defoliation is –0.40\* (Table 4).

The concentration of phosphorous and potassium in the soil correlates positively with vegetation air temperatures (0.34\*, 0.29\*), and negatively with vegetation precipitations (–0.34\*, –0.29\*) and altitudes (–0.52\*, –0.50\*) (Table 5).

Dry needle mass (g), concentration of potassium, calcium and magnesium (mg/g) decrease with the increase of tree crown defoliation (Table 6).

In the current year the mass of dry needles is 0.48 g, and in the last year it was 0.52 g. In the current year the concentration of calcium in needles is 12.34 mg/g, and in the last year it was 17.06 mg/g (Table 7).

The data of Fužine and Rijeka Forest Office show that the percentage share of salvage cutting or dieback of silver fir amounts up to 100% according to prescribed yield (annual allowable cut) for the area of management units Brloško, Kobiljak-Bitoraj and Jelenje Velo (border of the natural range). On the contrary, the percentage share of salvage cuttings according to prescribed yield in the area of the management units Ravna Gora and Višnjeвица (central part of Gorski Kotar) amounts up to 15%. In the area of Gorski Kotar tree dieback was recorded on all types of geological basis and forest soils, and in all silver fir forest associations. At the border of the natural range the highest dieback intensity was recorded in silver fir with hard fern, and in the central part of Gorski Kotar in silver fir with small-reed. According to our research, the highest tree dieback volumes (m<sup>3</sup> and m<sup>3</sup>/ha) occur at the lowest altitudes and on mild slopes. Tikvić et al. (2008) reported the same results. Due to higher air temperatures and lower precipitation quantities, soil evaporation is higher at lower altitudes. During drought periods at these altitudes, soil water balance is low. Thomas et al. (2002) found positive correlation between precipitation quantities and altitude and considers that this is suitable for forest tree development at higher altitudes.

In forest stands at the border of the natural range, tree dieback volume (m<sup>3</sup>/ha) is the lowest at northeast expositions, and the highest at west exposition, followed by different variants of south expositions, and compartments of different expositions. This was expected since the south and west expositions are warmer and more exposed to unfavourable currents from west Europe. The decrease of vegetation precipitation quantities significantly increases the volume of silver fir dieback. These results correspond to the results reported by other authors (Markalas 1992, Thomas et al. 2002, Tikvić et al. 2008).

Even within the silver fir areal in one country, there are significant differences in factors affecting tree dieback. This can be proved by comparing the factors that affect dieback at the border of the natural range and in the central part of Gorski Kotar. Air temperature increase and precipitation quantities decrease result in the decrease of concentration of calcium and magnesium in silver fir needles, which is significant for drought periods and air tempera-

ture increase. Dry needle mass and calcium concentration are significantly higher in the last year than in the current year needles. According to the Meteorological and Hydrological Service, the year 2007 (current year needles) was a drought year. In the forest stand at the border of the natural range where dieback was recorded, the average annual dieback intensity was six times higher than the average annual increment, while in forest stands in the central part of the area, dieback intensity was two times higher than the annual increment.

Tree dieback was recorded at all expositions, terrain slopes and altitudes, as well as in all forest associations. At the border of the natural range, relief, climate and structural factors have dominant effect on tree dieback, while in the central part of Gorski Kotar climatic factors have dominant effect on tree dieback. The increase of tree crown defoliation causes the decrease of dry needle mass, as well as the concentration of K, Ca and Mg. Drought resulted in lower concentration of magnesium and calcium in silver fir needles, and lower dry needle mass.

*Keywords:* tree dieback, tree dieback intensity, habitat factors, structural factors, essential mineral nutritive elements, silver fir

---

**Adresa autorâ – Authors' addresses:**

Dr. sc. Damir Ugarković  
e-pošta: damir.ugarkovic@gs.htnet.hr  
Izv. prof. dr. sc. Ivica Tikvić  
e-pošta: ivica.tikvic@zg.htnet.hr  
Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25  
HR-10000 Zagreb  
Prof. dr. sc. Zvonko Seletković,  
e-pošta: zvonkos@sumins.hr  
Zavod za ekologiju šuma  
Hrvatski šumarski institut  
Cvjetno naselje 41  
HR-10450 Jastrebarsko

Received (*Primljeno*): 15. 10. 2010.  
Accepted (*Prihvaćeno*): 21. 12. 2010.